

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2011–2012

ROK CIGLIČ
DRAGO PERKO
MATIJA ZORN



11

GIS V SLOVENIJI 11
GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI
V SLOVENIJI 2011-2012



ZALOŽBA
Z R C

GIS V SLOVENIJI 11

**GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI
SISTEMI V SLOVENIJI
2011–2012**

Uredili:

**Rok Ciglič
Drago Perko
Matija Zorn**

LJUBLJANA 2012

GIS V SLOVENIJI 11

GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI V SLOVENIJI 2011–2012

Rok Ciglič, Drago Perko, Matija Zorn

© 2012, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Uredniki: Rok Ciglič, Drago Perko, Matija Zorn

Uredniški odbor: Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Marjan Čeh, David Hladnik, Marjan Jarnjak, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Nika Razpotnik Visković, Blaž Repe, Radoš Šumrada, Matija Zorn

Recenzenti: Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Marjan Čeh, David Hladnik, Žiga Kokalj, Marko Krevs, Drago Perko, Tomaž Podobnikar, Nika Razpotnik Visković, Blaž Repe, Radoš Šumrada, Matija Zorn

Izdajatelj: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Za izdajatelja: Drago Perko

Soizdajateljji: Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU,
Zveza geografov Slovenije, Zveza geodetov Slovenije

Za soizdajatelje: Ivan Šprajc, Stanko Pelc, Jurij Režek

Založnik: Založba ZRC

Za založnika: Oto Luthar

Glavni urednik založbe: Aleš Pogačnik

Prelom: SYNCOMP d. o. o., Ljubljana

Naslovnica:

Trirazsežnostni prikaz načrtovanja posegov v prostor na primeru Kopra. Slika je nekoliko prirejen izsek slike 3 v poglavju *3R GIS okolje za načrtovanje in prikaz posegov v prostor*, ki so ga napisali avtorji Dean Šopič, Črt Rudman, Aljoša Žerjal, Daniel Presl Radi in Jure Grahor.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

659.2:004:91(082)(0.034.2)

GEOGRAFSKI informacijski sistemi v Sloveniji 2011-2012 [Elektronski vir] / uredili Rok Ciglič, Drago Perko, Matija Zorn. - El. knjiga. - Ljubljana : Založba ZRC, 2013. - (GIS v Sloveniji, ISSN 1855-4954 ; 11)

ISBN 978-961-254-595-6 (pdf)

<https://doi.org/10.3986/9789612545956>

1. Ciglič, Rok

269265152



VSEBINA

<i>Mauro Hrvatin, dr. Drago Perko</i> Uporabnost topografskega pozicijskega indeksa za morfološko analizo površja	9
<i>dr. Marko Komac, dr. Jernej Jež, dr. Bogomir Celarc, Blaž Milanič, dr. Miloš Bavec</i> Prvi rezultati merjenja premikov površja na območju Jesenic in Potoške planine s kombinacijo InSAR in GPS meritev	25
<i>Katja Milavec, dr. Timotej Verbovšek</i> Večkriterijsko vrednotenje vodonosnika Spodnje Savinjske doline za pridobivanje obnovljive toplotne energije	33
<i>Mateja Breg Valjavec, dr. Aleš Smrekar, Petra Gostinčar</i> Register virov onesnaževanja vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja	45
<i>dr. Mihaela Triglav Čekada, dr. Matija Zorn</i> Uporabnost nemerskih fotografij za preučevanje poplav – primer poplav na Dobropolju septembra 2010	55
<i>dr. Tatjana Veljanovski, dr. Žiga Kokalj</i> Objektno usmerjeno kartiranje poplav in njihova vloga v poselitvi osrednjega dela Ljubljanskega barja	63
<i>dr. Andrej Ceglar, Barbara Medved - Cvikel, dr. Lučka Kajfež - Bogataj, Luka Honzak, dr. Milan Kopal, dr. Klemen Eler</i> Razvoj sistema za spremljanje suš: od statičnih do porazdeljenih spletnih zemljevidov	73
<i>Rok Ciglič, dr. Drago Perko</i> Preverjanje pokrajinskih tipov Slovenije z geografskim informacijskim sistemom	81
<i>dr. Tatjana Veljanovski, Urša Kanjir, Primož Kovačič</i> Ocena števila prebivalcev v neformalnem naselju Kibera iz rabe tal z metodo objektne klasifikacije	91
<i>Sandi Berk, Primož Kete, dr. Tomaž Žagar, mag. Borut Pegan Žvokelj, Janez Košir</i> Ocena proizvodne sposobnosti zemljišč iz razpoložljivih prostorskih podatkov	99
<i>Blaž Barborič, Špela Zmrzlikar, dr. Sander Kovaci</i> Spremembe rabe tal z uporabo zgodovinskih kart v Kozjanskem parku	109
<i>Katja Milost, dr. Tomaž Podobnikar</i> Analiza položaja naselij na podlagi zgodovinskega kartografskega gradiva in spremenljivk okolja za Goričko in Ravensko	121
<i>Ksenija Žagar, Blaž Barborič, dr. Dalibor Radovan</i> Prostorska analiza in kartiranje romskih naselij v Sloveniji	133
<i>mag. Samo Drobne</i> Vpliv razdalje na tokove delavcev vozačev v Sloveniji	143
<i>dr. Dimitrij Mlekuž</i> Modeliranje gibanja in dostopnosti	153
<i>mag. Samo Drobne, Mojca Maja Lavrič</i> Spremembe funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2000 in 2009	161

<i>Jože Bučar, dr. Dušan Petrovič</i> Izdelava trirazsežnostne topografske karte Horjula z okolico	175
<i>Dean Šopič, Črt Rudman, Aljoša Žerjal, Daniel Presl Radi, Jure Grahor</i> 3R GIS okolje za načrtovanje in prikaz posegov v prostor	183
<i>dr. Mihaela Triglav Čekada, mag. Vasja Bric, mag. Katja Oven</i> Prvo vsedrjavno lasersko skeniranje Slovenije	191
<i>dr. Mojca Kosmatin Fras, Matevž Domajnko, dr. Anka Lisec</i> Krepitev in razvoj dejavnosti opazovanja Zemlje v Sloveniji	197
<i>mag. Aleš Urbič, dr. Krištof Oštir, dr. Žiga Kokalj, Grega Milčinski, Marjan Jarnjak, dr. Tomaž Rodič</i> Uporaba daljinskega zaznavanja površja Zemlje in GIS v zavarovalništvu	205
<i>dr. Branko Mušič, dr. Tomaž Podobnikar, mag. Nikolaj Šarlah</i> Neinvazivni način evidentiranja podzemne gospodarske infrastrukture z georadarsko metodo	213
<i>dr. Tina Žerjal, dr. Nataša Kolega, Mojca Poklar</i> Izdelava GIS orodja za podporo strokovnjakom za ohranjanje stavbne dediščine	225
<i>dr. Dejan Grigillo, Urša Kanjir</i> Uporaba fotogrametričnega in lidarskega digitalnega modela reliefa za samodejni zajem stavb	233
<i>mag. Igor Karničnik, dr. Dalibor Radovan, Matija Klanjšček, dr. Jelenko Švetak</i> Izdelava elektronskih navigacijskih kart (ENC) v podporo varni navigaciji v slovenskem morju	241
<i>Darka Jezeršek, Boštjan Krapež, Daniel Presl Radi</i> Sistem za podporo gasilcem na intervenciji	249
<i>Igor Bizjak</i> Google Maps kot odprtokodni GIS?	257

UPORABNOST TOPOGRAFSKEGA POZICIJSKEGA INDEKSA ZA MORFOLOŠKO ANALIZO POVRŠJA

Mauro Hrvatin, dr. Drago Perko

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti
mauro@zrc-sazu.si, drago@zrc-sazu.si

UDK: 911.2:551.43(497.4)

IZVLEČEK

Uporabnost topografskega pozicijskega indeksa za morfološko analizo površja

Z razvojem geografskih informacijskih sistemov se je močno povečalo število metod in kazalnikov za določanje, analizo in razvrščanje morfoloških enot površja na različnih velikostnih ravneh. V prispevku predstavljamo, primerjamo in vrednotimo topografski pozicijski indeks, ki smo ga testirali na različnih tipih površja v Sloveniji. Z njim smo določili morfološke enote površja in pregledali njihovo razporeditev glede na reliefne in pokrajinske tipe Slovenije.

KLJUČNE BESEDE

relief, digitalni model višin, topografski pozicijski indeks, tip površja, Slovenija

ABSTRACT

Usefulness of the topographic position index for morphological analysis of surface

The number of methods and indicators for determination, analysis and classification of surface morphological units at different scales has strongly increased with the development of geographic information system. In the article we present, compare and evaluate the topographic position index, which was tested in example areas with different surface types in Slovenia and used for landform classification. We also examine the distribution of landforms in relation to relief and landscape types of Slovenia.

KEY WORDS

relief, digital elevation model, topographic position index, surface type, Slovenia

1 Uvod

Najpomembnejša sestavina slovenskih pokrajin je izoblikovanost površja ali relief, saj odločilno vpliva na naravne in nekatere družbene sestavine pokrajine in največ prispeva k njeni zunanji podobi (Perko 1998b; Perko 2001; Hrvatin, Perko 2002, 2003; Perko 2007b). Prav zato moramo pri njenem raziskovanju in pri večini najrazličnejših posegov vanjo kot pomemben dejavnik upoštevati tudi relief. Pri sodobnih geografskih raziskavah je nepogrešljiv njegov navidezni prikaz, digitalni model višin.

Z analizo razmestitve celic digitalnega modela višin oziroma njihovih prostorskih razmerij lahko na različnih velikostnih ravneh ugotavljamo značilnosti in oblike površja. Ločimo temeljne ali splošne morfometrične lastnosti površja, ki temeljijo na analizi višin celic na določeni prostorski enoti, in posebne morfometrične lastnosti površja, ki temeljijo na posebnih, vnaprej določenih razmestitvah višin celic in se kažejo v značilnih oblikah površja, kot so slemena, vrhovi, kotline in podobno. V prejšnji letih smo preizkusili že več različnih metod in kazalnikov (Hrvatin, Perko 2008; Perko, Hrvatin 2009; Hrvatin, Perko 2010), tokrat pa smo za določanje posebnih lastnosti površja uporabili modula »topografski pozicijski indeks« in »klasifikacija morfoloških enot«, ki sta prosto dostopna na spletu v okviru dodatka za program ArcGIS. Posebne lastnosti površja smo ugotavljali na štirih reliefno različnih tipih pokrajine v Sloveniji, za analizo pa smo uporabili 25-metrski digitalni model višin (Geodetska uprava ... 2005).

2 Topografski pozicijski indeks

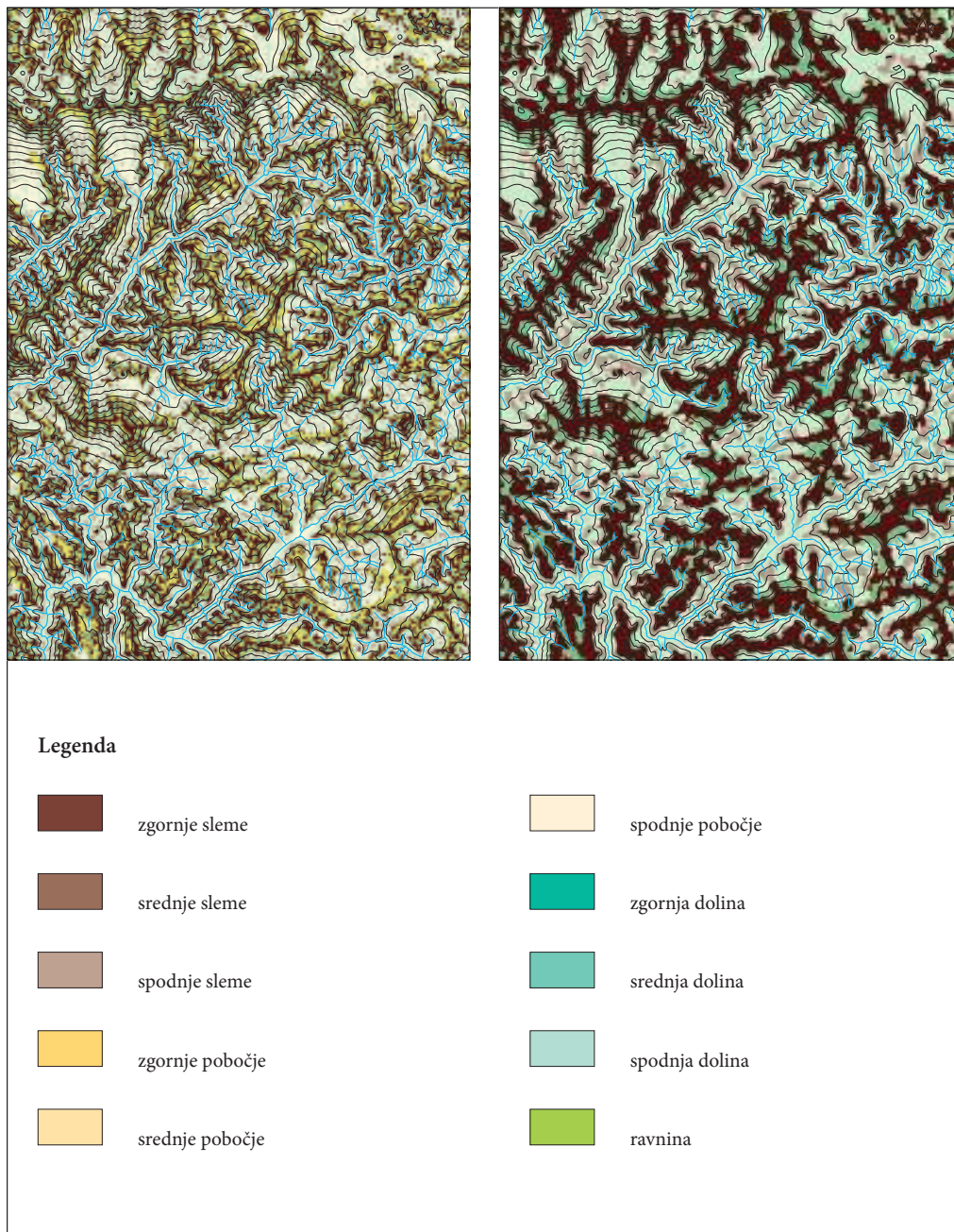
Morfometrični kazalnik topografski pozicijski indeks (kazalnik zemljepisne lege) in njegovo uporabnost je javnosti prvi predstavil Andrew Weiss (2001). Nekaj let kasneje je Jeff Jenness (2006) za program ArcGIS pripravil dodatek Topografska orodja (*Topography tools*), ki vključuje osem programskih modulov, od katerih so prvi štirje še posebej primerni za morfološke in hidrološke analize:

- topografski pozicijski indeks (*Topographic Position Index*),
- klasifikacija morfoloških enot (*Landform Classification*),
- klasifikacija pobočne lege (*Slope Position Classification*),
- topografski konvergenčni indeks (*Topographic Convergence Index*),
- korelacija pomičnega okna (*Moving Window Correlation*),
- Beersova ekpozicija ali vročinski indeks (*Beers Aspect* ali *Heat Index*),
- indeks sončne osvetljenosti (*Solar Illumination Index*) in
- sončno obsevanje (*Solar Radiation*).

Topografski pozicijski indeks je razlika med nadmorsko višino površja posamezne celice digitalnega modela višin in aritmetično sredino njenega poljubno obsežnega in poljubno oblikovanega sosedstva. Premer ali osnovnica sosedstva običajno meri od 100 do 2000 m, oblike sosedstva pa so najpogostejše krog, kolobar ali kvadrat.

Pozitivne vrednosti topografskega pozicijskega indeksa se pojavljajo tam, kjer so višine površja središčnih celic večje od povprečnih višin površja njihovega sosedstva ter označujejo vrhove vzpetin in njihove grebene oziroma slemena. Negativne vrednosti se pojavljajo tam, kjer je višina površja celice manjša od povprečne višine površja sosedstva ter označujejo doline in kotanje. Vrednosti topografskega pozicijskega indeksa blizu ničle pa so značilne za ravnine ali nerazgibana, enakomerno nagnjena pobočja, kjer se višina površja celice ne razlikuje bistveno od povprečne višine površja sosedstva.

Vrednost topografskega pozicijskega indeksa je močno odvisna od obsega sosedstva. Vzemimo primer rečne doline, katere aluvialna ravnina meri v prečni smeri 500 m. Topografski pozicijski indeks ima ob stometrskem premeru sosedstva v dnu doline vrednost 0 (ker je vrednost središčne celice enaka povprečni vrednosti sosedstva), topografski pozicijski indeks ob tisočmetskem premeru pa ima v dnu doline negativno vrednost (ker je vrednost središčne celice manjša od povprečne vrednosti sosedstva).



Slika 1: Razlike med morfološki enotami površja okoli Porezna zaradi različnih kombinacij obsega sosedstva. Levo so morfološke enote določene s kombinacijo stometrskega in devetstometrskega sosedstva, desno pa s kombinacijo petstometrskega in dvatisočmetrskega sosedstva.

Legenda velja tudi za slike 4, 6, 8 in 10.

Vrednosti topografskega pozicijskega indeksa smo izračunali za celotno Slovenijo. Uporabili smo okroglo pomično okno s premerom 500 m. Dobljene vrednosti se gibljejo med -201,13 in 263,56; obe skrajni vrednosti sta v Julijskih Alpah. V nadaljnji analizi smo upoštevali povprečne absolutne vrednosti po slovenskih pokrajinah (Perko 2007a).

Povprečni absolutni topografski pozicijski indeks je v Sloveniji med vsemi pokrajinami najvišji v Julijskih Alpah z 19,07, sledita pa pokrajini Idrijsko hribovje z 18,50 in Zahodne Karavanke z 18,38. Najnižji topografski pozicijski indeks v Sloveniji ima Murska ravan z 0,44, sledita pa Dravska ravan z 0,68 in Krška ravan z 1,45.

V slovenskih alpskih pokrajinah imajo najvišji topografski pozicijski indeks Julijske Alpe z 19,07, Zahodne Karavanke z 18,38 in Vzhodne Karavanke s 17,71, najnižji topografski pozicijski indeks pa Savinjska ravan z 2,01, Savska ravan s 3,79 ter Ložniško in Hudinjsko gričevje z 10,23.

V slovenskih sredozemskih pokrajinah imajo najvišji topografski pozicijski indeks Goriška brda s 13,60, Brkini z dolino Reke z 10,49 in Koprška brda z 9,50, najnižji topografski pozicijski indeks pa Kras s 5,51, Podgorski kras, Čičarija in Podgrajsko podolje s 6,84 ter Vipavska dolina s 7,59.

V slovenskih dinarskih pokrajinah imajo najvišji topografski pozicijski indeks Idrijsko hribovje z 18,50, Kambreško in Banjšice s 13,76 in Raduljsko hribovje z 12,10, najnižji topografski pozicijski indeks pa Ljubljansko barje z 2,01, Ribniško-Kočevo podolje s 3,08 in Bela krajina s 4,79.

V slovenskih panonskih pokrajinah imajo najvišji topografski pozicijski indeks Boč in Macelj s 17,51, Haloze s 14,74 ter Krško, Senovsko in Bizeljsko gričevje z 10,96, najnižji topografski pozicijski indeks pa Murska ravan z 0,44, Dravska ravan z 0,68 in Krška ravan z 1,45.

S kombinacijo dveh vrednosti topografskega pozicijskega indeksa, ki ju izračunamo za vsako celico glede na dve različni obsežni sosedstvi, lahko določamo morfološke enote površja. Weiss (2001) in Jenness (2006) sta na primerih površja iz Združenih držav Amerike uporabila okrogli sosedstvi s premeroma 500 in 2000 m, Barka in sodelavci (2011) pa so na Slovaškem uporabili okrogli sosedstvi s premeroma 100 in 900 m. Tudi pri nas sta sosedstvi z manjšim premerom (100 in 900 m) dali precej boljše rezultate, verjetno zaradi velike razčlenjenosti slovenskega površja.

3 Izbrana območja

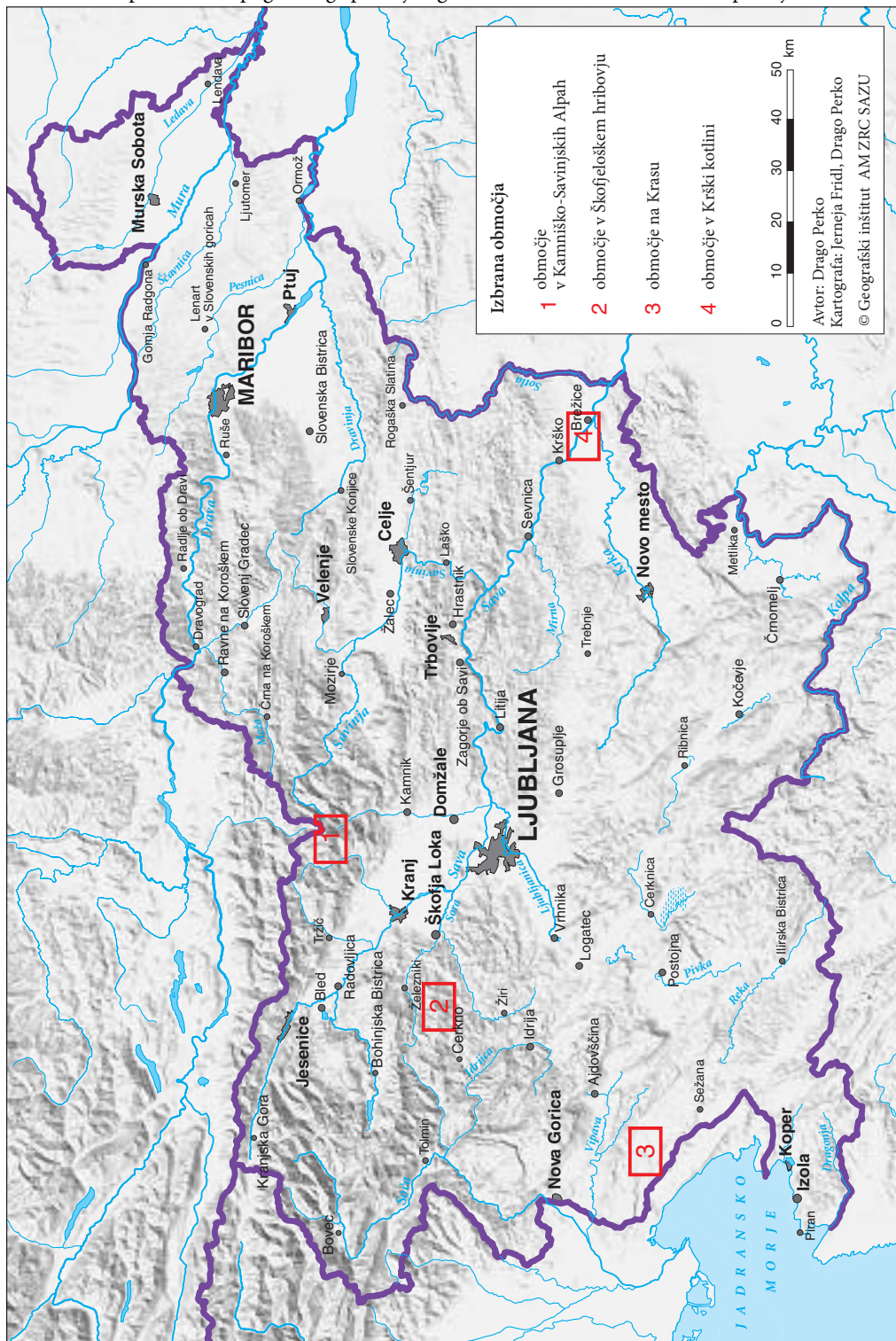
Primerjavo morfoloških enot na različnih tipih površja smo opravili na štirih območjih, ki se razlikujejo glede na morfološki in genetski tip reliefa (Gabrovec, Hrvatin 1998), razgibanost površja (Perko 2007b) ter kamninsko sestavo. Izbrali smo osrednji del Kamniško-Savinjskih Alp, del Škofjeloškega hribovja v okolici Blegoša, del Krasa v okolici Komna in del Krške kotline med Krškim in Brežicami. Območja so pravokotni izseki z dolžino 9 km, širino 6 km in površino 54 km². Morfološke enote smo določili s pomočjo ustreznega klasifikacijskega modula v programu ArcGIS z uporabo okroglega sosedstva s premerom 100 in 900 m.

Kamniško-Savinjske Alpe so poleg Julijskih Alp naša najbolj visokogorska pokrajina. Za osrednjo, najvišjo skupino vzpetin med Kočno in Ojstrico se uporablja tudi ljudski izraz Grintovci (Kladnik 1998). Gore so zgrajene večinoma iz karbonatnih kamnin, predvsem debelih plasti dachsteinskega apnenca, doline pa zapolnjujejo ledeniški in rečni nanosi. V ledeniško močno preoblikovani pokrajini izstopajo stene in strma pobočja, ki se od vršnih grebenov spuščajo v globoke krnice in ledeniške doline. Za pokrajino sta značilni velika navpična in majhna vodoravna razgibanost površja (Perko 2002).

Škofjeloško hribovje leži med Selško dolino na severu in Poljansko dolino na jugu. Najvišji vrh je 1562 m visoki Blegoš. Kamninska sestava je zelo pestra, saj se izmenjujejo glavni dolomit, rdeči grōdenški peščenjak, skrilavi glinavec, keratofir in psevdofiljske plasti z glinavcem ter s peščenjakom in tufom. Zaradi obilice vododržnih kamninskih plasti prevladuje rečno-denucacijski relief s številnimi grapami

Slika 2: Lega izbranih območij na zemljevidu Slovenije. ►

Uporabnost topografskega pozicijskega indeksa za morfološko analizo površja



in žlebovi. Doline so globoko vrezane in premorejo le malo ravnega dna (Gabrovec 1998). Za pokrajino sta značilni zmerna navpična in zmerna vodoravna razgibanost površja (Perko 2002).

Kras je obsežna planota v jugozahodnem delu Slovenije. Površje je v grobem uravnano, v drobnem pa močno kraško razčlenjeno z vrtačami in suhimi dolinami. Med slednjimi sta izraziti predvsem Mali in Veliki ali Brestoviški dol. Navkljub izraziti prevladi apnenca kamninska sestava ni enolična, saj ponekod prevladuje komenski ploščasti in laminirani apnenec s primesjo roženca, drugod pa plastnati apnenec (Jurkovšek 2010). Ponekod je apnenec prekrit z debelo kraško jerino. Za pokrajino sta značilni majhna navpična in zmerna vodoravna razgibanost površja (Perko 2002).

Krška kotlina je najbolj južna pokrajina slovenskega panonskega sveta. Ima izrazito podolgovato obliko, nastalo z ugrezanjem ob tektonskih prelomih v smeri od jugozahoda proti severovzhodu. V kotlini so bile najprej odložene morske terciarne usedline, ko se je morje umaknilo, pa so kotanjo zasipavale reke s prodom, peskom in glino. Na območju med Krškimi in Brežicami, imenovanim tudi Vrbina, je kotlina zapolnjena s savskim, pretežno karbonatnim prodom in peskom, ki sta odložena v več pleistocenskih in holocenskih terasah (Perko 1998a). Za pokrajino sta značilni majhna navpična in majhna vodoravna razgibanost površja (Perko 2002).

4 Morfološke enote izbranih območij

Klasifikacijo morfoloških enot na temelju topografskega pozicijskega indeksa smo torej opravili na štirih območjih, ki se med seboj razlikujejo z morfološkega, genetskega in litološkega vidika.

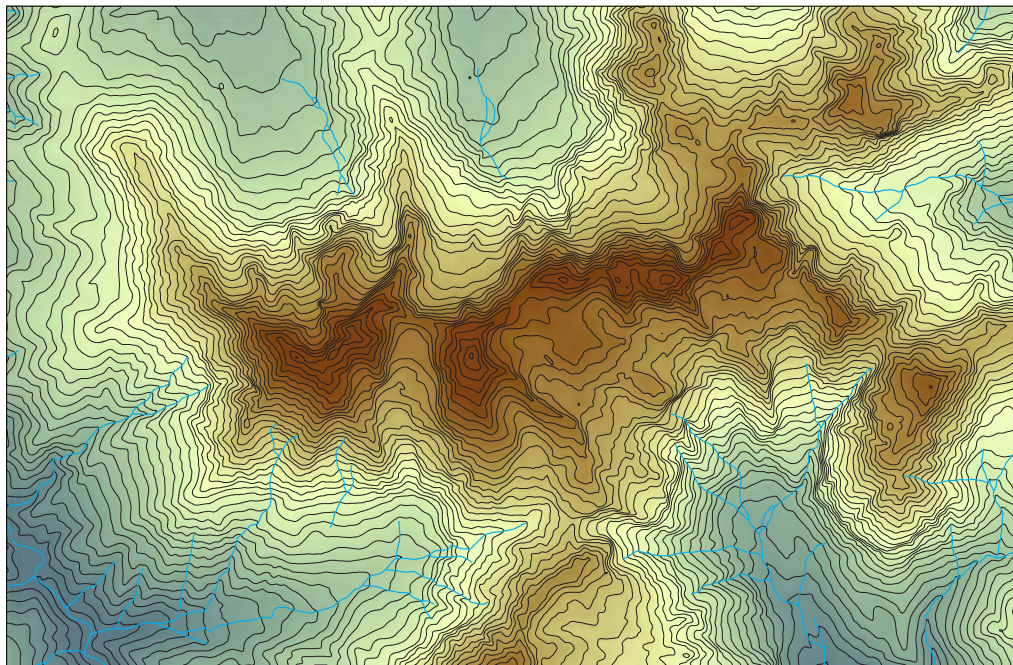
Klasifikacija morfoloških enot na temelju topografskega pozicijskega indeksa ima 10 enot. To so:

- ravnina,
- spodnja dolina,
- srednja dolina,
- zgornja dolina,
- spodnje pobočje,
- srednje pobočje,
- zgornje pobočje,
- spodnje sleme,
- srednje sleme in
- zgornje sleme.

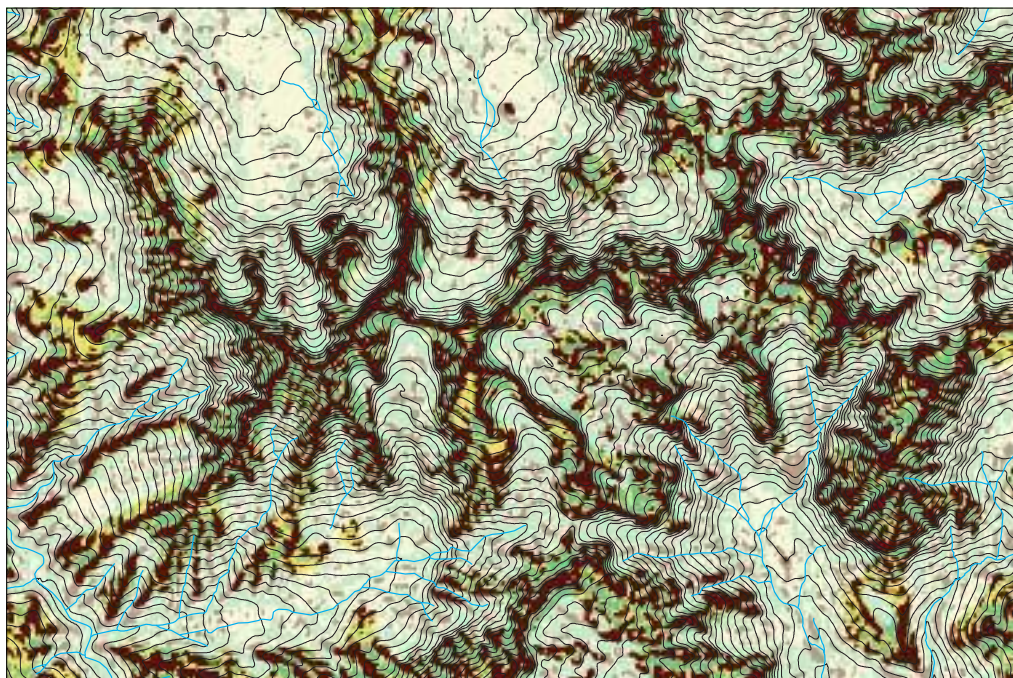
Enote imajo v Sloveniji zelo neenakomerne deleže. Predvsem delež srednjih dolin, srednjih pobočij in srednjih slemen je zelo skromen.

V osrednji gorski skupini Kamniško-Savinjskih Alp med Jezersko Kočno (2540 m) in Ojstrico (2350 m) je s 27,9 % najpogostejša morfološka enota spodnja dolina, ki obsega večinoma gorske grape in krnice. Tipični primeri so krnici Zgornje in Spodnje Ravni nad Jezerskim ter krnica z ostanki ledenika pod Skuto. Zgornjim slemenom pripada 22,6 % in vključujejo grebene med vrhovi ter grebene, ki se z vrhov spuščajo v globoko zarezane doline. Spodnja pobočja obsegajo 17,7 % površja. Večinoma gre za dna ledeniško preoblikovanih in razširjenih dolin, kot so na primer Makekova in Ravenska kočna, dolina Kamniške Bistrice in Suhi dol pod Kokrskim sedlom. Širina in strmec dna navedenih ledeniških dolin je očitno tolikšen, da jih klasifikacija uvršča med dele pobočja in ne med doline. Spodnjim slemenom pripada 11,5 % ozemlja, vključujejo pa predvsem skalna rebra, ki medsebojno ločijo grape in žlebove ob vznožju gorskih pobočij. Zgornjih dolin, ki obsegajo povrne dele visokogorskih hudournikov, je 10,9 %, zgornjih pobočij pa 8,3 %. Mednje na primer spada tako imenovana »Streha«, oziroma južno pobočje Grintovca. Preostale štiri enote obsegajo skupaj le dober odstotek ozemlja.

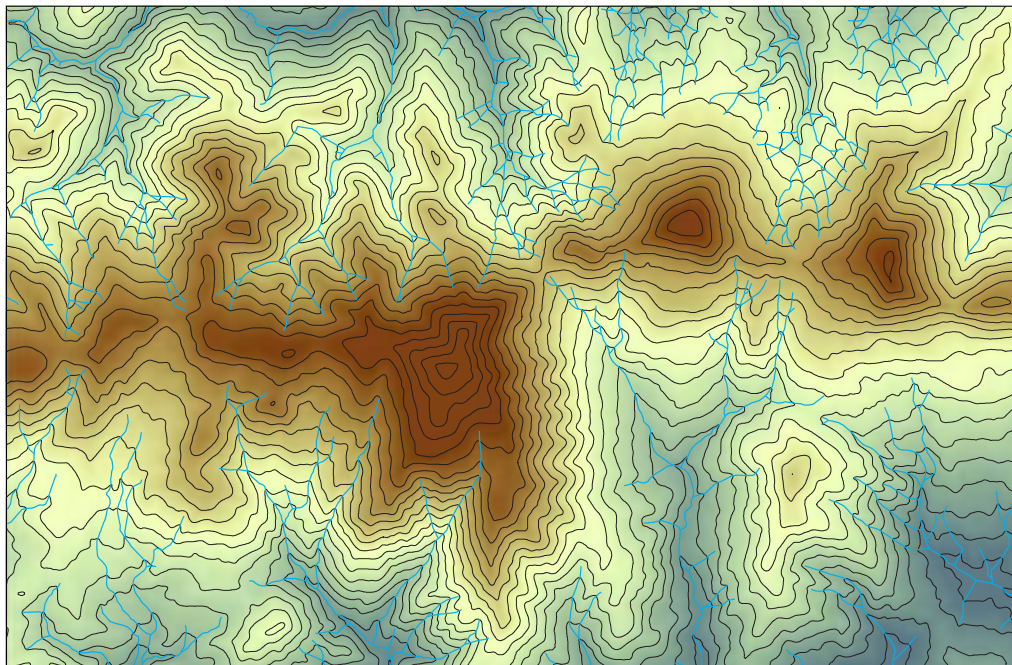
V širši okolici Blegoša sredi Škofjeloškega hribovja je podobno kot pri Kamniško-Savinjskih Alpah najpogostejša morfološka enota spodnja dolina, ki obsega 22,0 % površja. V to enoto so uvrščena dna globokih in ozkih dolin Davče, Kopačnice in Volaščice ter grape njihovih številnih pritokov. Zgornjim



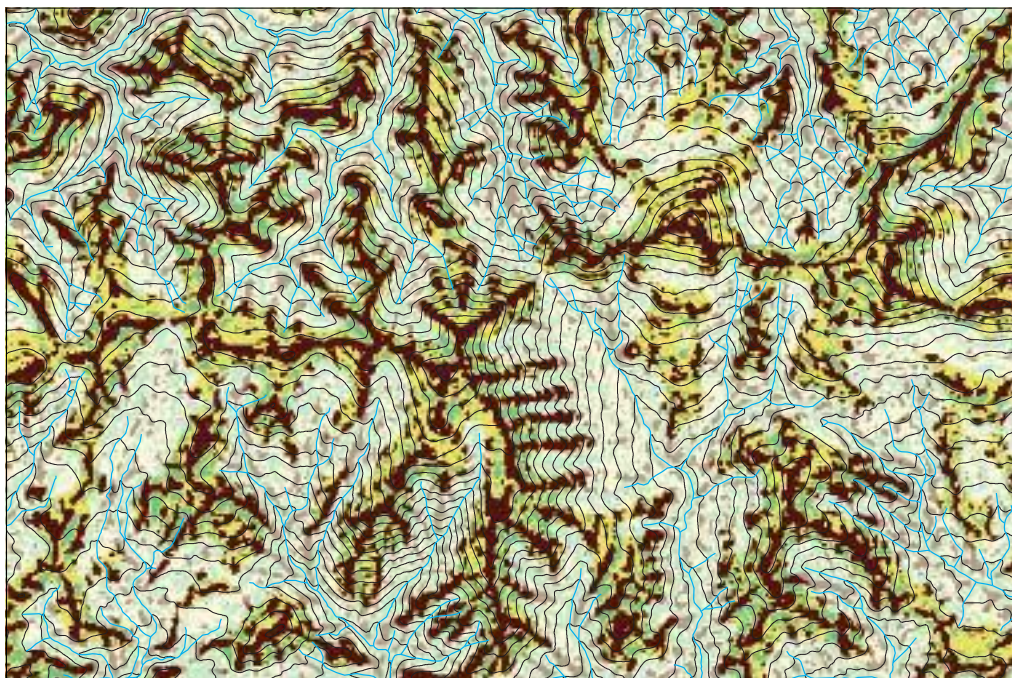
Slika 3: Višine površja v območju Kamniško-Savinjskih Alp.



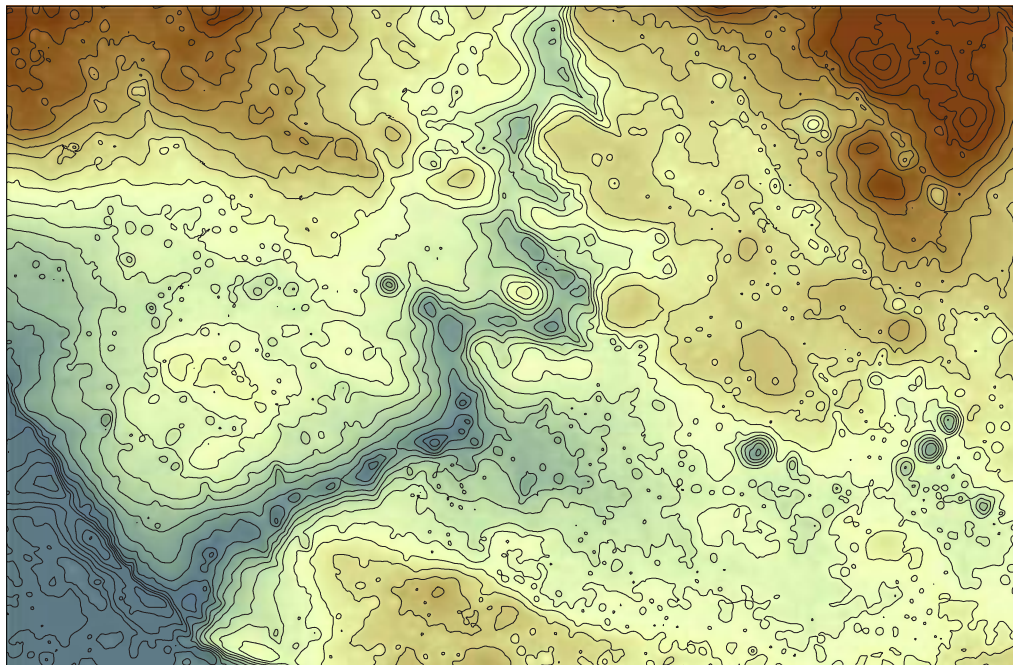
Slika 4: Morfološke enote površja v območju Kamniško-Savinjskih Alp (legenda je pri sliki 1).



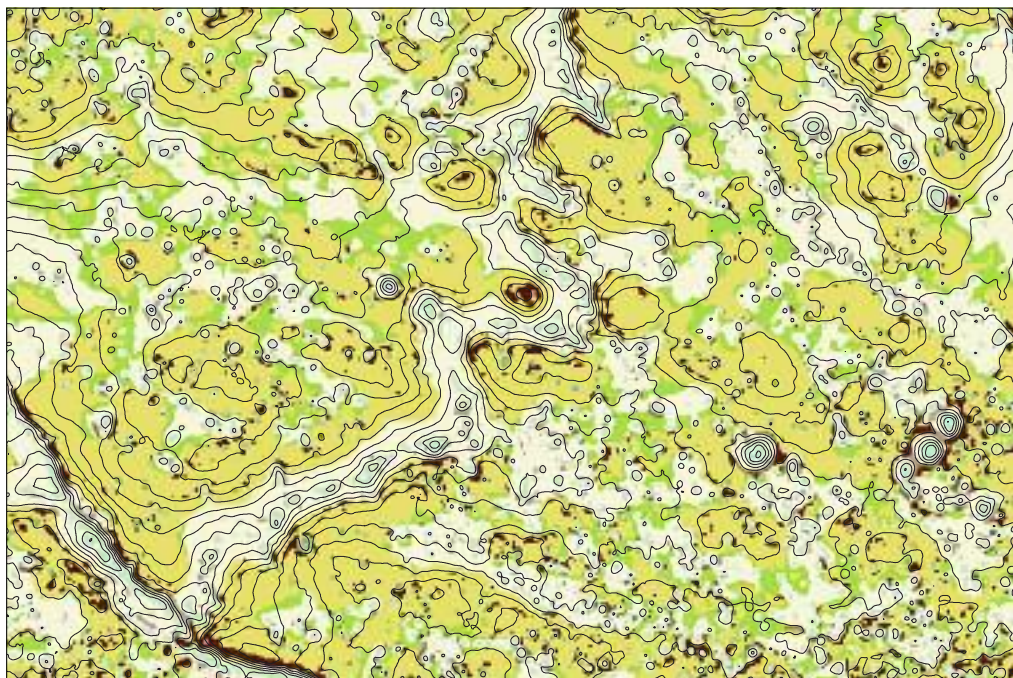
Slika 5: Višine površja v območju Škofjeloškega hribovja.



Slika 6: Morfološke enote površja v območju Škofjeloškega hribovja (legenda je pri sliki 1).



Slika 7: Višine površja v območju Krasa.



Slika 8: Morfološke enote površja v območju Krasa (legenda je pri sliki 1).



Slika 9: Višine površja v območju Krške kotline.



Slika 10: Morfološke enote površja v območju Krške kotline (legenda je pri sliki 1).

slemenom pripada 21,1 % ozemlja, vključujejo pa slemena med vrhovi, na primer med Blegošem (1562 m) in Črnim vrhom (1288 m), ter glavna slemena, ki se z vrhov spuščajo v dna dolin. Spodnjih pobočij je 19,3 % in obsegajo manj razčlenjene dele pobočij neposredno nad dnom dolin. Zgornjim pobočjem pripada 17,3 % površja. Vključujejo široke, močno zaobljene dele slemen ter slabo razčlenjena hribovska pobočja, kakršna ima na primer Koprivnik (1393 m) med Gorenjo Žetino in Martinj Vrhom. Nižjih in manj izrazitih spodnjih slemen je 11,1 % in povečini medsebojno ločijo grape stranskih potokov. Zgornje doline obsegajo 7,0 %, preostalih štirim enotam skupaj pa pripadata samo slaba dva odstotka ozemlja.

Na Komenskem Krasu je najpogostejša morfološka enota površja zgornje pobočje z 39,4 %. Ta obsega rahlo nagnjen in nekoliko bolj vzpet svet z redkimi vrtačami. Sledi enota spodnja pobočja s 30,0 %, ki vključuje suhe doline in plitva podolja. Najbolj izraziti suhi dolini na tem območju sta Veliki ali Brestoviški dol, ki poteka od Pliskovice proti Brestovici pri Komnu, in Mali dol med prevalom Grižnik (298 m) in Brjami pri Komnu. V dnu plitvih podolij so pogoste številne vrtače in ponekod, na primer med Kosoveljem in Hruševico, tudi manjše udornice. Ravnini pripada 10,9 % in obsega ozke pasove skoraj nerazčlenjenega površja med blagimi vzpetinami in kraškimi kotanjami. Spodnjim dolinam pripada 8,0 % ozemlja, sem pa spadajo dna suhih dolin in vrtač. Zgornjih slemen je 4,2 %. V večini primerov ne gre za prava slemena temveč za zgornje, konveksne robove suhih dolin in vrtač, kjer se uravnano površje prevesi navzdol proti dnu. Preostalih pet enot obsega skupaj dobro dvajsetino ozemlja.

Uravnane pokrajine so praviloma enolične in ne slovijo po morfološki pestrosti. Tako je tudi v Krški kotlini, kjer je daleč najpogostejša morfološka enota površja ravnina s kar 74,2 %. Obsega skoraj popolnoma ravno površje, ki sta ga v kvartarju nasuli reki Sava in Krka. Spodnje pobočje zavzema 11,8 % površja, največ ob vznožju teras in okoliškega vzpetega sveta. Zgornje pobočje, ki mu pripada 11,0 %, pa najpogosteje zavzema robne dele teras, tako kot na primer pri Brežicah in Drnovem. Preostalih sedem enot obsega skupaj tri odstotke ozemlja.

5 Morfološke enote površja ter reliefni in pokrajinski tipi

Preverili smo, v katerih reliefnih in pokrajinskih tipih se morfološke enote površja, določene glede na topografski pozicijski indeks, najbolj pogosto pojavljajo.

Pri reliefnih tipih smo za primerjavo izbrali prvo računalniško zasnovano tipizacijo reliefa v Sloveniji. Pripravil jo je Perko, ki je slovensko ozemlje sprva razčlenil na 8 enot razgibanosti površja in kasneje na 7 (Perko 1992; Perko 2001; Perko 2007b).

Delitev temelji na prostorski spremenljivosti višine in naklona površja. Za vsako kvadratno celico 100-metrskega digitalnega modela višin je ob upoštevanju njenih osmih sosednjih celic (pomično okno z velikostjo 9 ha ali 3 krat 3 celic) najprej izračunal koeficient variacije višine in koeficient variacije naklona te celice, nato pa iz obeh koeficientov variacije še njuno geometrično sredino, ki jo je poimenoval reliefni koeficient (Perko 2001). Z generalizacijo reliefnega koeficienta je določil enote razgibanosti površja. Končne meje med enotami je ročno priredil naravnim mejam v pokrajini (rekam, robovom planot in podobno).

Kasneje (Perko 2007b) je spremenljivost reliefa Slovenije ugotavljal z novo različico reliefnega koeficienta, ki ga je izračunal kot geometrično sredino koeficienta variacije naklona in koeficienta variacije ekspozicije vsake kvadratne celice 25-metrskega digitalnega modela višin in njenih 120 soled (pomično okno z velikostjo 7,5625 ha ali 11 krat 11 celic).

Shema te reliefne tipizacije z 8 tipi je naslednja (preglednica 1):

- prva enota (ravnina) ima dve podenoti oziroma dva tipa (nerazgibana ravnina in razgibana ravnina),
- druga enota (gričevje) ima dve podenoti oziroma dva tipa (razgibano gričevje in nerazgibano gričevje),
- tretja enota (hribovje) ima prav tako dve podenoti oziroma dva tipa (nerazgibano hribovje in razgibano hribovje),
- četrta enota (gorovje) ima eno enoto oziroma en tip (gorovje),
- peta enota (velika dolina) ima prav tako eno enoto oziroma en tip (velika dolina).

Preglednica 1: Reliefni tipi Slovenije (Perko 2007b).

reliefni tipi	km ²	%
nerazgibana ravnina	1930,07	9,52
razgibana ravnina	1178,47	5,81
nerazgibano gričevje	4866,85	24,01
razgibano gričevje	2610,95	12,88
nerazgibano hribovje	6443,39	31,78
razgibano hribovje	1045,63	5,16
gorovje	1912,81	9,44
velika dolina	284,77	1,40

Nekatere morfološke enote površja, določene s topografskim pozicijskim indeksom, so dokaj enakomerno razporejene po reliefnih tipih, druge pa so značilne le za nekatere reliefne tipe.

Povprečna gostota spodnjih dolin v Sloveniji je 16,4 ha/km². Največja je v gorovjih s 25,0 ha spodnjih dolin na km² gorovij, najnižja pa v nerazgibanih ravninah s 2,6 ha/km². Gostota spodnjih dolin je pod povprečjem Slovenije še samo v razgibanih ravninah in nerazgibanih gričevjih. Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto spodnjih dolin je skoraj 10 : 1.

Povprečna gostota srednjih dolin v Sloveniji je komaj 0,6 ha/km². Največja je v nerazgibanih gričevjih z 0,67 ha/km², najnižja pa v nerazgibanih ravninah s komaj 0,4 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto srednjih dolin je manj kot 5 : 1.

Povprečna gostota zgornjih dolin v Sloveniji je 4,7 ha/km². Največja je v gorovjih z 9,4 ha, najnižja pa v nerazgibanih ravninah z 0,4 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto zgornjih dolin je 21 : 1.

Za vse tri tipe dolin je značilno, da se njihova gostota povečuje z razgibanostjo površja.

Povprečna gostota spodnjih pobočij v Sloveniji je 16,4 ha/km². Največja je v razgibanih ravninah s 36,9 ha spodnjih pobočij na km² razgibanih ravnin, najnižja pa v gorovjih s 17,3 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto spodnjih pobočij je le 2 : 1.

Povprečna gostota srednjih pobočij v Sloveniji je 1,5 ha/km². Največja je v nerazgibanih gričevjih z 2,3 ha/km², najnižja pa v nerazgibanih ravninah s komaj 0,4 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto srednjih pobočij je nekaj več kot 5 : 1.

Povprečna gostota zgornjih pobočij v Sloveniji je 19,5 ha/km². Največja je v nerazgibanih gričevjih s 24,2 ha, najnižja pa v nerazgibanih ravninah z 8,0 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto zgornjih pobočij je točno 3 : 1.

Povprečna gostota spodnjih slemen v Sloveniji je 5,8 ha/km². Največja je v gorovjih z 10,3 ha spodnjih slemen na km² gorovij, najnižja pa v nerazgibanih ravninah z 0,5 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto spodnjih slemen je skoraj 20 : 1.

Povprečna gostota srednjih slemen v Sloveniji je le 0,7 ha/km². Največja je v razgibanih gričevjih z 0,9 ha/km², najnižja pa v nerazgibanih ravninah s komaj 0,2 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto srednjih slemen je nekaj manj kot 4 : 1.

Povprečna gostota zgornjih slemen v Sloveniji je 16,5 ha/km². Največja je v gorovjih s 23,2 ha, najnižja pa v nerazgibanih ravninah z 2,2 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto zgornjih slemen je nekaj več kot 10 : 1.

Povprečna gostota ravnin v Sloveniji je 9,1 ha/km². Največja je v nerazgibanih ravninah s 67,8 ha, najnižja pa v gorovjih s komaj stotinko ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto ravnin je kar 262 : 1. To je največje razmerje pri reliefnih tipih in drugo največje razmerje pri reliefnih in pokrajinskih tipih skupaj.

Tudi pri gostoti reliefnih tipov glede na morfološke enote površja, določene s topografskim pozicijskim indeksom, so razlike precejšnje.

Reliefni tip nerazgibana ravnina ima največjo gostoto v morfološki enoti površja ravnina z 71,2 ha nerazgibanih ravnin na km² ravnin. Tudi razgibane ravnine imajo največjo gostoto v ravninah z 16,9 ha/km².

Nerazgibane gričevja imajo največjo gostoto v srednjih pobočjih s 35,8 ha/km², razgibana gričevja pa v srednjih slemenih s 16,2 ha/km².

Nerazgibane hribovja imajo največjo gostoto v zgornjih pobočjih s 40,5 ha/km², razgibana hribovja pa v spodnjih slemenih s 7,8 ha/km².

Gorovja imajo največjo gostoto v zgornjih dolinah z 18,7 ha/km², velike doline pa v spodnjih pobočjih z 1,9 ha/km².

Pri pokrajinskih tipih smo za primerjavo izbrali razmeroma preprosto geografsko tipizacijo, ki Slovenijo na prvi ravni deli na 4 pokrajinske enote in na drugi ravni na 9 podenot. Prva raven je povezana z lego Slovenije na stiku štirih velikih evropskih geografskih enot: Alp, Panonske kotline, Dinarskega gorovja in Sredozemlja, na drugi ravni pa so enote prve ravni razdeljeni predvsem glede na razgibanost površja in kamnine (Perko 2007b, 33–54).

Shema te geografske tipizacije, ki sloni predvsem na naravnih sestavinah pokrajine in rabi tal, je naslednja (preglednica 2):

- prva enota (alpske pokrajine) ima tri podenote oziroma tipe (alpska gorovja, alpska hribovja in alpske ravnine),
- druga enota (panonske pokrajine) ima dve podenoti oziroma dva tipa (panonska gričevja in panonske ravnine),
- tretja enota (dinarske pokrajine) ima dve podenoti oziroma dva tipa (dinarske planote ter dinarska podolja in ravniki),
- četrta enota (sredozemske pokrajine) ima prav tako dve enoti oziroma dva tipa (sredozemska gričevja in sredozemske planote).

Preglednica 2: Pokrajinski tipi Slovenije (Perko 2007a).

pokrajinski tipi	km ²	%
alpska gorovja	3061,77	15,10
alpska hribovja	4660,02	22,99
alpske ravnine	819,20	4,04
panonska gričevja	2994,47	14,77
panonske ravnine	1296,97	6,40
dinarske planote	3809,31	18,79
dinarska podolja in ravniki	1896,89	9,36
sredozemska gričevja	1061,03	5,23
sredozemske planote	673,27	3,32

Največja gostota spodnjih dolin je v alpskih gorovjih s 23,3 ha spodnjih dolin na km² alpskih gorovij, najnižja pa v panonskih ravninah z 1,1 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto spodnjih dolin je nekaj več kot 24 : 1.

Največja gostota srednjih dolin je v dinarskih podoljih z 0,66 ha/km², najnižja pa v panonskih ravninah s komaj 0,1 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto srednjih dolin je manj kot 11 : 1.

Največja gostota zgornjih dolin je v alpskih gorovjih z 8,4 ha, najnižja pa v panonskih ravninah z 0,1 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto zgornjih dolin je 76 : 1.

Največja gostota spodnjih pobočij je v dinarskih podoljih s 34,3 ha spodnjih pobočij na km² dinarskih podoljih, najnižja pa v panonskih ravninah s 13,0 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto spodnjih pobočij je nekaj manj kot 3 : 1.

Največja gostota srednjih pobočij je v sredozemskih planotah z 2,7 ha/km², najnižja pa v panonskih ravninah z 0,3 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto srednjih pobočij je nekaj več kot 9 : 1.

Največja gostota zgornjih pobočij je v sredozemskih planotah z 29,9 ha, najnižja pa v panonskih ravninah s 7,5 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto zgornjih pobočij je točno 4 : 1.

Največja gostota spodnjih slemen je v alpskih gorovjih z 9,2 ha spodnjih slemen na km² alpskih gorovij, najnižja pa v panonskih ravninah z 0,2 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto spodnjih slemen je nekaj več kot 61 : 1.

Največja gostota srednjih slemen je v sredozemskih planotah z 0,9 ha/km², najnižja pa v panonskih ravninah z 0,1 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto srednjih slemen je nekaj več kot 9 : 1.

Največja gostota zgornjih slemen je v alpskih gorovjih z 22,0 ha, najnižja pa v panonskih ravninah z 0,9 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto zgornjih slemen je nekaj manj kot 25 : 1.

Največja gostota ravnin je v panonskih ravninah s 76,9 ha, najnižja pa v alpskih gorovjih z 0,3 ha/km². Razmerje med največjo in najmanjšo gostoto ravnin je kar 265 : 1, kar je sploh največje razmerje.

Tudi pri gostoti pokrajinskih tipov glede na morfološke enote površja, določene s topografskim pozicijskim indeksom, so razlike precejšnje.

Alpska gorovja imajo največjo gostoto v zgornjih dolinah s 26,8 ha alpskih gorovij na km² zgornjih dolin, alpska hribovja v spodnjih slemenih s 33,3 ha/km², alpske ravnine pa v ravninah s 16,9 ha/km².

Panonska gričevja imajo največjo gostoto v srednjih pobočjih z 19,9 ha/km², panonske ravnine pa v ravninah s 54,4 ha/km².

Dinarske planote imajo največjo gostoto v srednjih pobočjih s 24,9 ha/km², dinarska podolja pa prav tako v srednjih pobočjih s 14,0 ha/km².

Sredozemska gričevja imajo največjo gostoto v srednjih slemenih s 6,2 ha/km², sredozemske planote pa v srednjih pobočjih s 5,1 ha/km².

6 Sklep

Topografski pozicijski indeks je eden od objektivnih kvantitativnih kazalnikov razgibanosti površja. Kombiniranje njegovih vrednosti glede na dve različni obsežni sosedstvi omogoča določanje morfoloških enot površja z digitalnim modelom višin v okviru geografskih informacijskih sistemov. Koristi pri preučevanju pokrajini. Tako so na primer v raziskavi gorovja Spring Mountains na jugu Nevade (Guisan, Weiss, Weiss 1999) z uporabo tristometriškega, tisočmeterskega in dvatisočmeterskega sosedstva ugotovili, da je topografski pozicijski indeks za višino površja drugi najvplivnejši kazalnik za razporeditev rastlinstva.

V Sloveniji od desetih možnih morfoloških enot več kot desetino površja obsegajo:

- spodnja pobočja s 25,2 %, ki so najbolj značilna za razgibane ravnine in nerazgibana gričevja,
- zgornja pobočja z 19,5 %, ki so najbolj značilna za nerazgibana in razgibana gričevja ter nerazgibana hribovja,
- zgornja slemena s 16,5 %, ki so najbolj značilna za gorovja ter razgibana in nerazgibana hribovja,
- spodnje doline s 16,4 %, ki so najbolj značilne za gorovja in razgibana hribovja.

S topografskim pozicijskim indeksom in programi LANDSERF, SAGA in TAS (Hrvatin, Perko 2008) lahko sorazmerno hitro določimo morfološke enote površja celotne države. Take členitve pa imajo celo vrsto pomanjkljivosti in se pogosto ne skladajo z našo predstavo o izoblikovanosti površja oziroma z dejanskimi razmerami v pokrajini. Njihova uporabnost je zato omejena.

Če pa kazalnike in metode priredimo slovenskim razmeram, na primer s spreminjanjem mej razredov ali obsega sosedstva, jih testiramo na terenu, pretehtamo poimenovanje morfoloških enot in podobno, se njihova uporabnost bistveno poveča. Pri interpretaciji rezultatov je pomembno tudi, da poznamo bistvo algoritmov določanja morfoloških enot pri posameznih programih.

7 Viri in literatura

- Barka, I., Vladovič, J., Mališ, F. 2011: Landform classification and its application in predictive mapping of soil and forest units. GIS Ostrava 2011. Ostrava.
- Gabrovec, M. 1998: Cerkljansko, Škofjeloško, Polhograjsko in Rovtarsko hribovje. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Hrvatin, M. 1998: Površje. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Geodetska uprava Republike Slovenije 2005: 25-metrski digitalni modeli višin (DMV-25). Ljubljana.
- Guisan, A, Weiss, S. B., Weiss, A. D. 1999: GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology* 143. Dordrecht.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2002: Ugotavljanje ukrivljenosti površja z digitalnim modelom višin in njena uporabnost v geomorfologiji. *Geografski informacijski sistemi 2001–2002*. Ljubljana.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2003: Gozdno rastje in morfometrične značilnosti površja v Sloveniji. *Geografski vestnik* 75-2. Ljubljana.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2008: Morfološka analiza površja z geografskim informacijskim sistemom. *Geografski informacijski sistemi 2007–2008, GIS v Sloveniji* 9. Ljubljana.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2010: Določanje enot oblikovanosti površja Slovenije z metodo regionalne zvezne delitve. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010, GIS v Sloveniji* 10. Ljubljana.
- Jenness, J. 2006: Topographic Position Index extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Flagstaff.
- Jurkovšek, B. 2010: Geološka karta severnega dela Tržaško-Komenske planote 1 : 25.000. Ljubljana.
- Kladnik, D. 1998: Kamniško-Savinjske Alpe. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Perko, D. 1998a: Krška ravan. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Perko, D. 1998b: The regionalization of Slovenia. *Geografski zbornik* 38. Ljubljana.
- Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa. *Geografija Slovenije* 3. Ljubljana.
- Perko, D. 2002: Določanje vodoravne in navpične razgibanosti površja z digitalnim modelom višin. *Geografski vestnik* 74-2. Ljubljana.
- Perko, D. 2007a: Landscapes. *Slovenia in Focus*. Ljubljana.
- Perko, D. 2007b: Morfometrija površja Slovenije. *Georitem* 3. Ljubljana.
- Perko, D., Hrvatin, M. 2009: Določanje enot oblikovanosti površja v Sloveniji s prirejeno Hammondovo metodo. *Geografski vestnik* 81-2. Ljubljana.
- Weiss, A. 2001: Topographic position and landforms analysis. ESRI user conference. San Diego.

PRVI REZULTATI MERJENJA PREMİKOV POVRŠJA NA OBMOČJU JESENIC IN POTOŠKE PLANINE S KOMBINACIJO INSAR IN GPS MERITEV

dr. Marko Komac, dr. Jernej Jež, dr. Bogomir Celarc, Blaž Milanič, dr. Miloš Bavec

Geološki zavod Slovenije

marko.komac@geo-zs.si, jernej.jez@geo-zs.si, bogomir.celarc@geo-zs.si, blaz.milanic@geo-zs.si,

milos.bavec@geo-zs.si

UDK: 528.88:551.4(497.4)

IZVLEČEK

Prvi rezultati merjenja premikov površja na območju Jesenic in Potoške planine s kombinacijo InSAR in GPS meritev

Interferometrija permanentnih sipalcev (PSI) omogoča meritve deformacij zemeljskega površja na milimetrski ravni. Metoda temelji na časovni analizi čim bolj koherentnih odbojev radarskega signala od t. i. permanentnih sipalcev (PS). PSI je predvsem pri analizi premikov s horizontalno komponento precej omejen, zato smo v okviru programa Galileo izvedli projekt I2GPS, v okviru katerega smo razvili inovativno napravo za merjenje premikov v prostoru (3R), sestavljeno iz kompaktnega aktivnega sipalca (CAT) ter GPS antene in sprejemnika. Napravo smo testirali na plazju na Potoški planini, kjer smo opazovali premikanje velikega plazju, in pri Blejski Dobravi, kjer smo poskusili oceniti morebitno tektonsko aktivnost Savskega preloma. Rezultati sočasnih InSAR in GPS meritev dajejo zelo spodbudne rezultate, predvsem z inženirskogeološkega vidika. Zaznali smo stalno aktivno premikanje plazju. Opazovani premiki vzdolž pobočja so dosegali hitrosti okoli 67 mm/leto in so skladni z opazovanji v naravi. Rezultat opazovanja točke za oceno tektonskega premikanja na drugi strani Savskega preloma je manj zanesljiv, verjetno zaradi oddaljenosti merske točke od referenčnega poligona.

KLJUČNE BESEDE

InSAR, GPS, pobočni masni premiki, premiki zemeljskega površja, zemeljski plazovi, tektonika

ABSTRACT

Preliminary results of surface displacement measurements using a combination of InSAR and GPS for the area of Jesenice and Potoška planina

Permanent Scatterer Interferometry (PSI) enables measurements of ground deformation phenomena at millimetric scale. The technique is based on analysis of permanent scatterers (radar signal reflectors) that are phase coherent over a certain period of time. PSI technique has limitations in detecting horizontal component of displacements and to overcome this issue the Galileo I2GPS project was launched. I2GPS project (02/2010–09/2011) aimed to develop a novel device consisting of a Compact Active Transponder (CAT) and integrated with the GPS antenna and receiver. A series of devices were deployed in a landslide area in Potoška planina and in the vicinity of the potentially active Sava Fault, respectively. The first results are promising. The devices detected constant movements of the landslide. Observed downslope motion reached values of approximately 90mm/year and is in line with field observations. On the other hand the observed motion of the potentially active Sava fault seems to be less reliable; most probably due to large distance of the surveying location from the reference polygon.

KEY WORDS

InSAR, GPS, slope mass movements, ground motions, landslides, tectonics

1 Uvod

Interferometrijo umetno odprtinskega radarja (InSAR – *Interferometry of Synthetic Aperture Radar*) so od poznih osemdesetih let razvijali za zaznavo razlik med dvema radarskima posnetkoma kot t. i. diferencialno InSAR metodo (DInSAR – *Differential InSAR*). V poznih devetdesetih so metodo nadgradili v PSI, s katero je možno analizirati razlike med več zaporednimi radarskimi zapisi (posnetki), in tako spremljati premike določenega območja skozi daljše časovno obdobje. V preteklih desetletjih so metodo uporabili v različnih panogah, ki se ukvarjajo s časovnimi spremembami zemeljskega površja. Uporabili so jo v hidrologiji (Declercq s sodelavci 2005; Ludwig in Schneider 2006), pri zaznavanju posedanja tal zaradi rudarjenja (Carnec in Delacourt 2000), v glaciologiji (Mohr in Madsen 2000), v ekologiji (Borgeaud in Wegmüller 1997), v vulkanologiji (Salvi s sodelavci 2004), pri spremljavi počasnega plazenja (Hiley s sodelavci 2004; Bovenga s sodelavci 2006; Farina s sodelavci 2006; Hole s sodelavci 2011; Žibret, Komac in Jemec v tisku) in v neotektoniki (Komac in Bavec 2007; Bürgmann s sodelavci 2006; Massironi s sodelavci 2009; Vilardo s sodelavci 2009; Sansosti s sodelavci 2010).

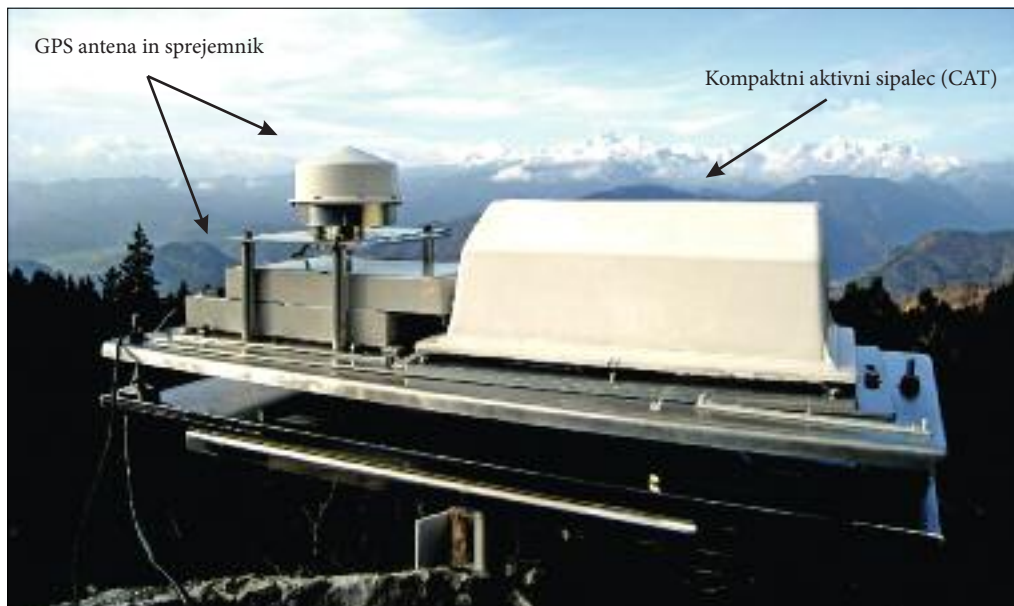
NAVSTAR GPS je bil zasnovan leta 1974 kot satelitski navigacijski sistem Ameriškega ministrstva za obrambo za vojaške in civilne namene. Leta 1994 po ustanovitvi IGS-a (*International GNSS Service*) je GPS postal polno operativen in je omogočal milimetrsko natančne meritve (Mueller in Beutler 1992, Dow s sodelavci 2009).

Osnovni namen aktivnosti v I2GPS projektu je bil združiti GNSS in InSAR tehnologijo, jo testirati v naravi, sočasno izmeriti deformacije z obema metodama in rezultate uporabiti za spremljanje premikov v treh razsežnostih (3R). Za izvedbo projekta smo izbrali dve testni območji; terensko pri Jesenicah (slika 1) in laboratorijsko v Delftu (Nizozemska). Rezultatov iz laboratorijskega območja v tej objavi ne podajamo lahko pa jih bralec najde v Mahapatra s sodelavci (2011). V nadaljevanju predstavljamo rezultate meritev iz okolice Jesenic, kjer smo naprave postavili na plazu na Potoški planini in južno od Savskega preloma pri Blejski Dobravi. Podajamo tudi geološke interpretacije izmerjenih premikov.

2 Metodologija

PSI tehnika se tradicionalno opira na odboj radarskega signala od permanentnih sipalcev. Navadno so to grajeni objekte (hiše, ceste, jezovi) in redkeje kamninske golice na zemeljskem površju. Ti odbijajo radarski signal nazaj proti satelitu. Zaradi nekaterih slabosti tehnike (nezmožnost sipanja/odbijanja signala na poraščenih območjih, spreminjanje vsebnosti vlage v PS ...) so bili razviti t. i. umetni sipalci, kot so kotni sipalci (*Corner Reflector*) in aktivni odbojniki CAT (*Compact Active Transponder*). V slednjem primeru gre za napravo, ki radarski signal sprejme, ga ojača in pošlje nazaj proti satelitu. Razvita je bila v podjetju SEA (Systems Engineering and Assessment Ltd). Zaradi ojačane amplitude odbitega signala so CAT-i dobro vidni na vseh radarskih posnetkih in potemtakem zagotavljajo visoko stopnjo interferometrične povezave med radarskimi posnetki – imajo visoko stopnjo koherence. Pri obdelavi podatkov se koherenca določi za vsako točko (*pixel*, PS) vsakega posnetka (Hanssen s sodelavci 2005). Radarske posnetke smo pridobili pri ESA (*European Space Agency*), obdelalo pa jih je podjetje Fugro NPA Ltd. Postopek obdelave ima več korakov:

- prepoznavanje CAT-ov in njihovega odziva na radarski signal na vsakem posnetku,
- priprava interferograma iz para posnetkov,
- modeliranje in odstranitev orbitalnih in topografskih vplivov s pomočjo orbitalne geometrije in digitalnega modela višin (DMV) območja,
- odstranitev preostalih orbitalnih in atmosferskih vplivov;
- obdelava vrednosti relativnih faznih zamikov za vsak CAT,
- preračun faznih zamikov v vrednost premika (deformacije) v smeri potovanja radarskega signala (LOS *line-of-sight*).



Slika 1: I2GPS enota sestavljata GPS sprejemnik in antena ter CAT.

Radarski posnetki so bili posneti iz spuščajoče se tirnice satelita (*descending orbit*), obenem pa je bil kot snemanja od navpičnice zamaknjen za kot pogleda satelita, ki je pri satelitih Envisat $28,8^\circ$. Kot referenčno točko smo izbrali merilno napravo na lokaciji Ref_2 (slika 2).

Zvezne GPS meritve smo opravili z anteno Satimo-005-A in s sprejemnikom Septentrio AsteRx2e HDC. Podatke o položaju smo beležili na vsakih 30 sekund v SBF formatu (*Septentrio Binary Format*), te pa so nadalje obdelali na Tehnični Univerzi v Delftu. Glavni cilji obdelave so bili:

- zagotoviti čim bolj natančne koordinate in časovne nize v okviru ITRF2008 (*International Terrestrial Reference Frame*) za posamezna merilna mesta,
- oceniti atmosferske vplive in
- preveriti stabilnost referenčne točke (Ref_2).

Premike v 3R je mogoče dobiti z dopolnjevanjem obeh merskih metod, pri čemer imajo GPS (GNSS) meritve natančnejšo vodoravno, InSAR meritve pa natančnejšo navpično komponento premikov. Kombinacija obeh metod podaja premike vseh CAT-ov in I2GPS enot v absolutnem referenčnem okvirju, če je na merskem poligonu vsaj ena I2GPS enota in izboljšane 3R vektorje premikov vseh I2GPS enot.

3 Geografska umestitev in geološke značilnosti

Testno območje projekta I2GPS smo izbrali v območju Karavank v bližini Jesenic. V širšem strukturnogeološkem smislu leži testno območje znotraj prelomne cone Periadriatskega prelomnega sistema, kamor prištevamo tudi Savski prelom. Območje grade predvsem paleozojske in mezozojske klastične in karbonatne kamnine, ki so zaradi vpliva tektonike zelo poškodovane in porušene in kot take podvržene pojavom pobočnih masnih premikanj (zemeljskim plazovom, skalnim podorom in masnim tokom).

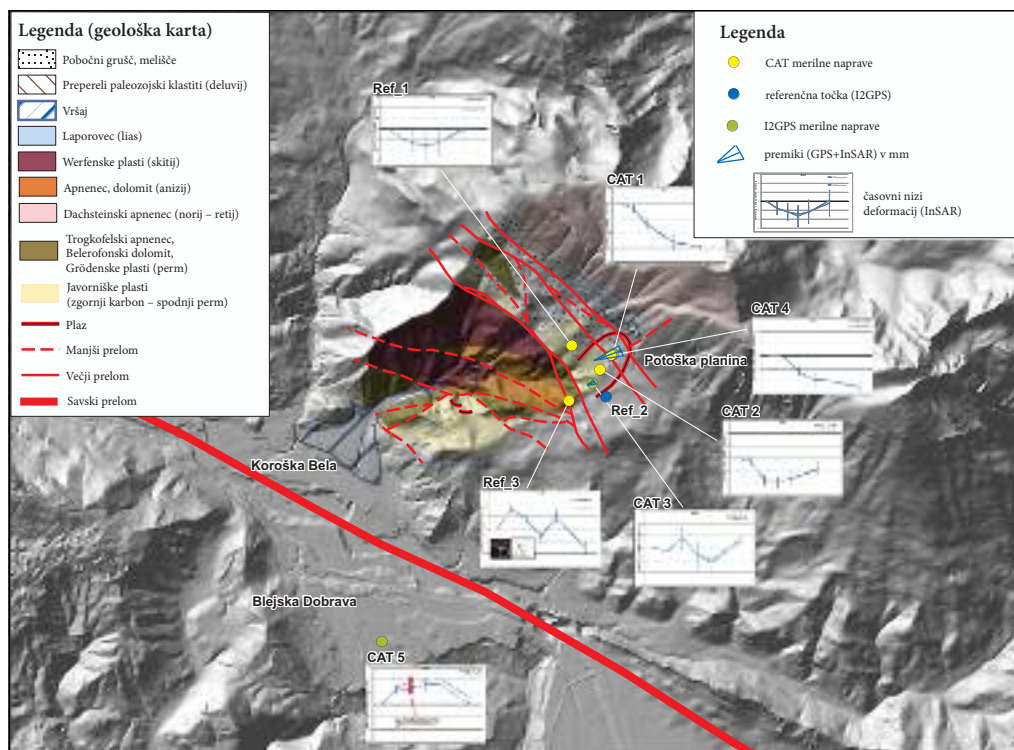
CAT in GPS naprave smo postavili na območju plazu na Potoški planini (~ 1300 m n. v.). Postavili smo štiri I2GPS enote in štiri CAT-i. Zemeljski plaz bi se lahko ob neugodnih vremenskih razmerah

razvil v masni tok sedimentov in kot tak ogrozil nižje ležeče naselje Koroška Bela. S podrobnimi geološkimi raziskavami smo namreč ugotovili, da so masni tokovi z območja Potoške planine v preteklosti že dosegli vršaj, kjer danes stoji naselje Koroška Bela (Jež s sodelavci 2008). Eden takšnih dogodkov se je zgodil tudi leta 1789, ko je bilo v vasi uničenih ali poškodovanih 40 hiš.

Eno od sestavljenih I2GPS enot smo postavili južno od Savskega preloma, v bližini vasi Blejska Dobrava. Namen te enote je bil v kombinaciji z enotami na Potoški planini meriti potencialne 3R premike ob tem pomembnem prelomu.

4 Rezultati in geološka interpretacija premikov

Rezultati meritev kombiniranih I2GPS enot, postavljenih na območju plazu na Potoški planini, so bili v skladu s pričakovanji in predhodnimi geološkimi opazovanji. Naprave so pokazale do 33,5 mm vodoravnega in do 12 mm navpičnega premika v obdobju merjenja, ki je trajalo od februarja do avgusta leta 2011. Razlike v zabeleženih premikih med posameznimi merskimi točkami znotraj območja zemeljskega plazu pripisujemo značilnostim gibanja mase plazu, ki vplivajo na različni način in hitrost deformiranja posameznih delov plazu. Plazenje je stalno v vrhnjem delu plazu, na kar kažejo rezultati z merilnih naprav CAT 1 in CAT 4 ter delno CAT 2 (slika 2). Merilna naprava CAT 3 kaže na relativno velike vodoravne premike, InSAR meritve na isti lokaciji pa ne kažejo bistvenega navpičnega premika. Predvidevamo, da gre v tem primeru za manjši stranski plaz, ki se morda vede rotacijsko, lahko pa je vzrok takim rezultatom tudi nagib betonskega temelja merilne naprave, ki ga sicer med terenskimi pregledi nismo ugotovili.



Slika 2: Geološka karta testnega območja in lokacije merilnih naprav.

Podatki InSAR in GPS so bili dostopni le za mesta, kjer smo meritve izvajali z obema metodama, torej z enoto I2GPS. Iz ločenih podatkov smo skupne premike na posameznih merskih mestih (preglednica 1) izračunali v naslednjih korakih:

- iz InSAR premikov (v smeri pogleda satelita ter potovanja radarskega signala – LOS) smo izračunali navpične komponente vektorja premika,
- iz GPS vektorjev premikov (upoštevana samo vodoravna komponenta) smo nadalje izračunali vodoravne komponente vektorja premika,
- iz obeh komponent smo nazadnje izračunali premike v prostoru oziroma 3R vektorje premikov.

Preglednica 1: Izmerjeni premiki z obema metodama in izračunani dejanski premiki. Vse vrednosti predstavljajo premike v obdobju enega leta in so relativne glede na lokacijo Ref_2 (slika 2). V prvih dveh stolpcih so podani izmerjeni premiki na lokacijah s CAT-i (premik v smeri radarskega signala; premik v navpični smeri), v stolpcih 3 do 5 so podani izmerjeni premiki na lokacijah z GPS anteno, v zadnjih treh stolpcih pa so podane smeri skupnih (prostorskih) vektorjev premikov (azimut podaja smer premika; odklon od vodoravnice podaja smer premika glede na vodoravnico, kjer negativna vrednost pomeni pogrezanje; celoten premik podaja velikost vektorja premika v prostoru).

	InSAR (mm/leto)		GPS (mm/leto)			kombinacija GPS-InSAR (premik v prostoru)		
	premik v smeri radarskega signala	premik v navpični smeri	premik proti severu	premik proti vzhodu	premik navzgor	azimut premika (°)	odklon od vodoravnice (°)	celoten premik (mm/leto)
Ref1	0,37	0,32	/	/	/	/	/	/
Ref2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ref3	-14,13	-12,23	/	/	/	/	/	/
CAT 1	-29,52	-25,54	-22,09	-57,77	3,9	249	-22,44	66,91
CAT 2	-9,59	-8,30	/	/	/	/	/	/
ZCAT 3	3,49	3,02	-6,2	-12,91	-3,27	245	-11,9	14,64
CAT 4	-25,04	-21,66	/	/	/	/	/	/
CAT 5	5,77	4,99	-0,64	8,44	-5,01	98	30,54	9,83

Pri interpretaciji celotnih premikov smo upoštevali tudi napake meritev. Te smo za InSAR podatke ocenili na okoli $\pm 1,2$ mm v smeri radarskega signala za obdobje snemanja, za GPS podatke pa na $\pm 1,6$ mm za premike v smeri severa in $\pm 2,25$ mm za premike v smeri vzhoda. Kljub napakam rezultati jasno namigujejo, da gmota drsi proti nižjim predelom in da je v prihodnje možno spet pričakovati pojava zemeljskih plazov ali celo drobirskih tokov.

I2GPS enota pri Blejski Dobravi je pokazala velik vodoravni premik točke v smeri vzhod–jugovzhod. Izmerjena smer premikanja je v nasprotju s pričakovanji glede na znane geološke značilnosti Savskega preloma, ki je razložen kot desnozmični prelom in bi po naših pričakovanjih moral povzročiti premik točke (južnega krila) v smeri proti severozahodu. Poleg tega bi bil tektonsko povzročen premik 9 mm (pre)velik za tako kratek čas merjenja. Anomalijo si zaradi velike oddaljenosti merske točke od referenčne mreže na Potoški planini razlagamo z vplivom zunanjih dejavnikov na meritve (atmosferski vplivi in velika razlika v nadmorski višini).

5 Sklep

Preskus združitve dveh tehnik daljinskega opazovanja sprememb zemeljskega površja, radarske interferometrije in GNSS na dejanskem primeru pobočnega premikanja gmote je pokazal obetavne rezultate za uporabo združenega pristopa k sistematičnem opazovanju takih pojavov v prihodnje. Trenutna izvedba naprave (enote I2GPS) ima določene omejitve, ki so predvsem tehnične narave (prenos podatkov, napajanje ...), zato je cilj nadaljnjih nadgradenj enote odprava ali zmanjšanje teh pomanjkljivosti. Kljub vsem omejitvam smo z rezultati meritev lahko določili hitrosti premikanja zemeljske gmote, ki se lahko ob neugodnih razmerah spremeni v drobirski tok in ogrozi nižje ležeča naselja vzdolž doline.

6 Viri in literatura

- Borgeaud M., Wegmüller U. 1997: On the use of ERS SAR interferometry for the retrieval of geo- and bio-physical information. Proceedings of the 'Fringe 96' workshop on ERS SAR interferometry. Zürich.
- Bovenga F., Nutricato R., Refice A., Wasowski J. 2006: Application of multi-temporal differential interferometry to slope instability detection in urban/peri-urban areas. Engineering Geology 88, 3–4. Amsterdam.
- Bürgmann, R., Hilley, G., Ferretti, A., Novali, F. 2006: Resolving vertical tectonics in the San Francisco Bay area from permanent scatterer InSAR and GPS analysis. Geology 34-3. Boulder.
- Carnec C., Delacourt C. 2000: Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, near Gradane. Journal of Applied Geophysics 43. France.
- Declercq P.-Y., Devleeschouwer X., Pouriel F. 2005: Subsidence revealed by PSInSAR technique in the Ottignies-Wavre area (Belgium) related to water pumping in urban area. Proceedings of Fringe 2005 Workshop (Expanded Abstracts). Frascati.
- Dow, J. M., Neilan, R. E., Rizos, C. 2009: The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. Journal of Geodesy 83-3–4.
- Farina P., Colombo D., Fumagalli A., Marks F., Moretti S. 2006: Permanent scatterers for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM project. Engineering Geology 88, 3–4. Amsterdam.
- Hilley G. E., Bürgmann R., Ferretti A., Novali F., Rocca F. 2004: Dynamic of slow-moving landslides from permanent scatterer analysis. Science 304.
- Hole J., Holley R., Giunta G., De Lorenzo G., Thomas A. 2011: InSAR assessment of pipeline stability using compact active transponders. Proceedings of FRINGE 2011, 8th International Workshop on »Advances in the Science and Applications of SAR Interferometry«. Frascati.
- Jež J., Mikoš M., Trajanova M., Kumelj Š., Bavec M. 2008: Vršaj Koroška Bela – Rezultat katastrofičnih pobočnih dogodkov. Geologija 51-2. Ljubljana.
- Komac, M., Bavec, M. 2007: Opazovanje vertikalne komponente recentnih premikov v Julijskih Alpah s PSInSAR metodo. Geologija 50-1. Ljubljana.
- Ludwig R., Schenider P. 2006: Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing 60-5. New York.
- Mahapatra P., Hanssen R., Van der Marel H., Chang L., Dheenathayalan P., Delgado Blasco J.-M., Esteves Martins J., Holley R., Komac M., Prior C., Fromberg A. 2011: A comparative study of corner reflectors, compact active transponders and I2GPS for monitoring deformation in areas with low spatial density of persistent scatterers: the Delft field experiment. Proceedings of FRINGE2011, 8th International Workshop on »Advances in the Science and Applications of SAR Interferometry«, Frascati.
- Massironi, M., Zampieri, D., Bianchi, M., Schiavo, A., Franceschini, A. 2009: Use of PSInSARTM data to infer active tectonics: Clues on the differential uplift across the Giudicarie belt (Central-Eastern Alps, Italy). Tectonophysics 476, 1–2.

- Mohr J. J., Madsen S. N. 2000: Automatic generation of large scale ERS DEMs and displacement maps. *Advancing ERS SAR Interferometry from Applications towards Operations*. Liege.
- Mueller, I. I., Beutler, G. 1992: The International GPS Service for Geodynamics – Development and Current Structure. *Proceedings of the 6th Symposium on Satellite Positioning*. Columbus.
- Salvi S., Atzori S., Tolomei C., Allievi J., Ferretti A., Rocca F., Prati C., Stramondo S., Feuillet N. 2004: Inflation rate of the Colli Albani volcanic complex retrieved by the permanent scatterers SAR interferometry technique. *Geophysical Research Letters* 31-L12606. Washington.
- Sansosti, E., Casu, F., Manzo, M., Lanati, R. 2010: Space-borne radar interferometry techniques for the generation of deformation time series: An advanced tool for Earth's surface displacement analysis. *Geophysical research letters* 37-L20305. Washington.
- Vilardo, G., Ventura, G., Terranova, C., Matano, F., Nardo, S. 2009: Ground deformation due to tectonic, hydrothermal, gravity, hydrogeological, and anthropic processes in the Campania Region (Southern Italy) from Permanent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Remote sensing of environment* 113-1.
- Žibret G., Komac M., Jemec M. v tisku: Assessing the relation between PSInSAR displacements (related to soil creep) on unstable slopes and rainfall intensities in western Slovenia. *Geomorphology*. Amsterdam.

VEČKRITERIJSKO VREDNOTENJE VODONOSNIKA SPODNJE SAVINJSKE DOLINE ZA PRIDOBIVANJE OBNOVLJIVE TOPLOTNE ENERGIJE

Katja Milavec, dr. Timotej Verbovšek

Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
katja.milavec@gmail.com, timotej.verbovsek@ntf.uni-lj.si

UDK: 556.33:502.174.3(497.431)

IZVLEČEK

Večkriterijsko vrednotenje vodonosnika Spodnje Savinjske doline za pridobivanje obnovljive toplotne energije

V prispevku predstavljamo izsledke preučevanja možnosti uporabe podzemne vode na območju Spodnje Savinjske doline kot toplotnega obnovljivega vira energije. S pomočjo programske opreme ArcGIS smo na osnovi geoloških in hidrogeoloških lastnosti območja ter parametrov podzemne vode izdelali karto primernosti izrabe podzemne vode kot obnovljivega vira energije iz sedmih podatkovnih slojev (kart): debelina omočenega sloja, prepustnost, globina do povprečnih ravni gladine podzemne vode, nihanje gladine podzemne vode, minimalne in povprečne temperature vode ter vodovarstvena območja. Rezultati kažejo, da je v splošnem večina Spodnje Savinjske doline ugodna za tovrstno izkoriščanje podzemne vode. Najbolj ugodno območje je okrog Žalca, najmanj pa v okolici Dolenje vasi. Uporabljen pristop temelji na razponu vrednosti parametrov na tem območju, uporaben pa je tudi za ostala območja.

KLJUČNE BESEDE

podzemna voda, obnovljivi viri energije, GIS, večkriterijsko vrednotenje, Spodnja Savinjska dolina

ABSTRACT

Multi-criteria evaluation of Lower Savinja valley aquifer for exploitation of groundwater as a renewable energy source

In the paper we present the outcomes of suitability of groundwater exploitation in the Lower Savinja valley as a renewable energy source. On the basis of geological, hydrogeological properties of the studied area and groundwater parameters, a final map was produced in ArcGIS from seven input layers (maps): saturated thickness, hydraulic conductivity, depth to average water table, water table fluctuation, minimal and average water temperature and from a map of groundwater protection zones. Results indicate that in general, most of the Lower Savinja valley area is suitable for exploitation of groundwater with heat pumps, with most suitable area around Žalec and least suitable area around Dolenja vas. Used approach is based on the data of studied area, however it is applicable to any other areas.

KEY WORDS

groundwater, renewable energy source, GIS, multi-criteria evaluation, Lower Savinja valley

1 Uvod

Ob vse višjih cenah fosilnih goriv je izraba toplotne energije podzemne vode prek toplotnih črpalk čedalje bolj aktualna. Ker se območja primernosti izrabe toplote iz tega vira dokaj razlikujejo predvsem na geološke danosti, je posledično aktualno vprašanje, kateri predeli so bolj primerni za izkoriščanje in kateri manj. V prispevku je bila kot primer analiziranega območja izbrana Spodnja Savinjska dolina, ker zaradi plitvih nivojev podzemne vode predstavlja potencialno zanimivo območje z relativno enotno geološko zgradbo.

Oceno primernosti smo izdelali s pomočjo GIS orodja, ki omogoča upoštevanje več informacijskih slojev, ki so združeni po utežnih faktorjih v končno karto primernosti območij za izrabo podzemne vode oziroma vrtnje vrtin za toplotne črpalke. Uporabljeni so bili sloji z nivoji gladin podzemne vode, z njenimi minimalnimi letnimi temperaturami, z globino do neprepustne podlage, s prepustnostjo kamnin, z debelino omočenega sloja (vsi ti dejavniki predstavljajo naravne značilnosti ozemlja) ter z vodovarstvenih območjih (antropogene določbe), ki delno omejujejo posege v vodonosnik. Posamezni podatkovni sloji so bili razdeljeni v pet razredov primernosti, nato pa so bili prek utežnih odstotkov seštetni in združeni v končno karto primernosti izrabe podzemne vode kot obnovljivega vira toplotne energije.

2 Geološki opis območja, podatki in opis metod

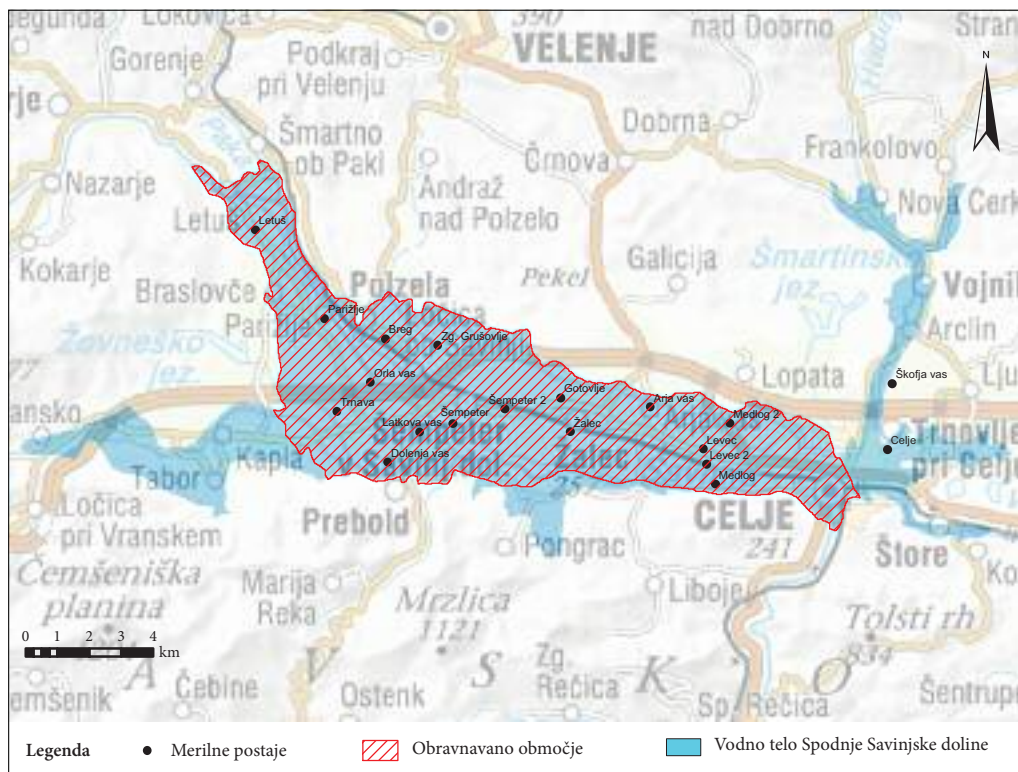
Obravnavano območje zajema osrednji del vodnega telesa Spodnje Savinjske doline (slika 1) in pripada geotektonski enoti Južnih Alp (Placer 1997). V podlagi lahko spremljamo kamnine geoloških obdobij od spodnjega triasa do kvartarja. Spodnja Savinjska dolina je z aluvialnimi sedimenti zapolnjena tektonska udorina pliocenskega in pleistocenskega obdobja. Ob Celjskem prelomu je nastala okoli 5 km široka in prek 27 km dolga asimetrična depresija v smeri V–Z, globoka okoli 1400 metrov. V pliocenu so jo zapolnjevali glinasto-meljasti in gruščasti sedimenti, v pleistocenu in holocenu pa prodni in peščeni sedimenti površinskih vodnih tokov. Ob njenem obrobju izdajajo terciarni skladi, ki tvorijo tudi podlago sami udorini. Na formiranje prodno-peščenih usedlin so vplivali mladi tektonski premiki z amplitudo vertikalnega premikanja (Buser 1977).

Kvartarne usedline, ki so večinoma sedimenti z medzrnsko poroznostjo (večinoma so na tem območju prisotni prodi), so relativno dobro prepustne. Koeficient prepustnosti K za to območje se giblje med $3,4 \times 10^{-2}$ m/s in $1,69 \times 10^{-5}$ m/s. Vodonosnik je odprtega tipa in se napaja iz padavin in površinskih vod, med katerimi je glavna reka Savinja, po kateri ima dolina tudi ime.

Za nivoje in temperature podzemne vode so bili zaradi konsistenčnosti uporabljeni podatki državnega monitoringa Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO 2010), podatki o neprepustni podlagi ter prepustnosti, ki so pridobljeni na osnovi vrtnanja (Vižintin 1999; Uhan, Vižintin in Pezdič 2011), ter podatki o poroznosti, ki so bili določeni na podlagi granulometrije (Uhan s sodelavci 1996).

Podatki o nivojih gladin in temperaturah so zbrani iz 19 merilnih postaj ARSO-ta v štiriletnem obdobju (2005–2008). Ker so na posameznih merilnih postajah nameščene različne merilne naprave (ročni merilniki, limnigrafi, *data logger*-ji, avtomatska merilna postaja), ki beležijo podatke o nivojih podzemne vode v različnih časovnih intervalih, smo za vse postaje izbrali dnevne meritve, ki so bile izmerjene ob 12. uri. Za celotno obdobje smo prek grafov nihanja podzemne vode na posameznih postajah določili najmanjši, največji in povprečni nivo ter tudi povprečne globine do podzemne vode.

Za podatke o temperaturah podzemne vode smo za vse postaje uporabili mesečne podatke, saj so intervali merjenj po postajah različni. Po podobnem grafičnem postopku kot za nivoje podzemne vode smo določili maksimalno, minimalno in povprečno temperaturo za posamezno merilno postajo. Podatki o neprepustni podlagi so zbrani iz več virov (Vižintin 1999; osebna komunikacija 2011; Uhan, Vižintin in Pezdič 2011). Podatki o koeficientu prepustnosti so bili določeni na osnovi meritev v 23 vrtinah (Vi-



Slika 1: Območje vodnega telesa Spodnje Savinjske doline.

žintin 1999). Za celotno preiskovano območje smo za poroznost prevzeli vrednost $n = 0,25$, ki je določena s hidrogeološkimi izračuni na podlagi granulometrije (Uhan s sodelavci 1996).

Za izdelavo karte vodovarstvenih območij so bili uporabljeni podatki iz spletnega portala WFS GIS ARSO (medmrežje 1), ki temeljijo na Pravilniku o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Ur. l. RS 64/2004, 5/2006).

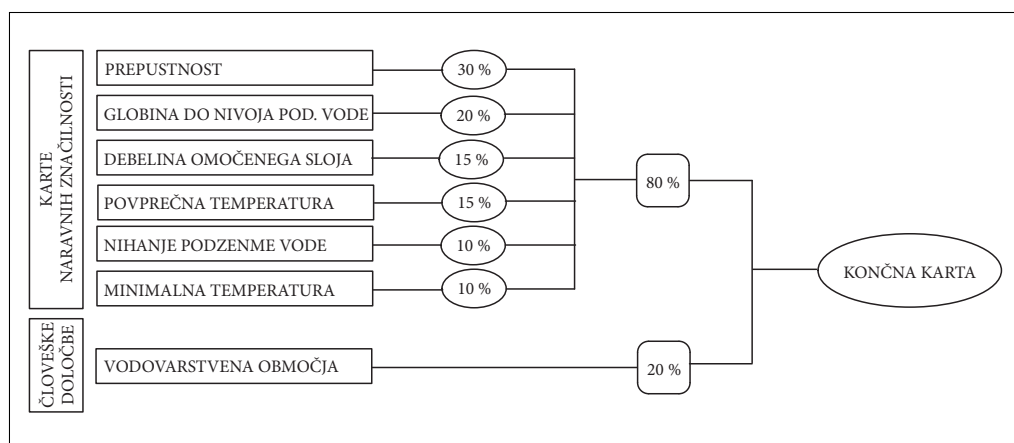
Omenjeni podatki so bili urejeni v geopodatkovni GIS bazi (program ESRI ArcCatalog 9.3). Najprej smo iz pridobljenih podatkov izrisali osnovne karte: karto minimalnih, maksimalnih in povprečnih nivojev gladin podzemne vode, karto minimalnih, maksimalnih in povprečnih temperatur podzemne vode, karto neprepustne podlage, karto prepustnosti in karto poroznosti. Za izdelavo osnovnih kart iz točkovnih podatkov merilnih mest smo izmed interpolacijskih metod uporabili krigiranje (angl. *kriging*) (za karte nivojev in temperatur podzemne vode, za karto prepustnosti) in metodo utežne obratne razdalje IDW (angl. *inverse distance weighted*) za karto neprepustne podlage). Pri karti koeficientov prepustnosti je bila uporabljena njihova logaritmirana vrednost ($\log K$), saj so vrednosti K porazdeljene lognormalno (Verbovšek in Veselič 2008) in so podatki bolj enakomerno razvrščeni v tovrstne razrede.

Nato smo iz teh podatkov in osnovnih kart naredili izpeljane karte, ki so predstavljale vhodne podatkovne sloje v GIS-u. Tako smo od izpeljanih kart sprva izdelali **karto debeline omočenega sloja** (razlika med kotami podlage in kotami povprečnega nivoja gladine podzemne vode), nato **karto globin do povprečnih nivojev gladin podzemne vode** (razlika med nadmorskimi višinami iz digitalnega modela višin DMV25 z ločljivostjo 25 m (GURS 2010) področja Spodnje Savinjske doline in kotami povprečnih vred-

nosti nivojev gladine podzemne vode) ter **karto nihanja gladine podzemne vode** (razlika med maksimalnimi in minimalnimi nivoji podzemne vode). Tem kartam smo dodali še **karti minimalnih in povprečnih temperatur podzemne vode ter karto koeficientov prepustnosti**. Vse te karte predstavljajo naravne značilnosti ozemlja, kot zadnja karta je bila izdelana **karta vodovarstvenih območij**, ki predstavlja antropogeni sloj, saj so podatki za ta sloj človeške omejitve in ne naravne, poleg tega pa so vodovarstvena območja prisotna le na prostorsko ločenih predelih v nasprotju z ostalimi sloji. Karte so bile izbrane na podlagi ocene, da večja debelina omočenega sloja predstavlja bolj ugodne razmere za izrabo toplotne energije podzemne vode, prav tako pa so bili kot bolj ugodni upoštevani naslednji faktorji: manjša globina do vode, manjša letna nihanja, večja prepustnost, višje temperature ter manjše omejitve na vodovarstvenih območjih.

Vse karte predstavljajo rastri z velikostjo celice 25 krat 25 m. Da smo lahko karte primerjali in jih na koncu združili v končno karto primernosti izrabe podzemne vode, smo podatke vsake posamezne karte razdelili v pet razredov (razred 1: območje je najmanj primerno za izdelavo vrtin, razred 2: manj primerno, razred 3: primerno, razred 4: bolj primerno in razred 5: najbolj primerno). Zaradi razpona vrednosti podatkov, ki se razlikujejo med posameznimi vodonosniki/vodnimi telesi, se klasifikacija nanaša le na območje Spodnje Savinjske doline in ni uporabna za celotno Slovenijo, kar predstavlja izziv za nadalje delo.

Sledilo je združevanje kart v skupno karto primernosti, kjer je bila vsaki izmed sedmih rastrskih kart pripisana utežna vrednost v odstotkih (slika 2). Uporabljen je bil postopek utežnega prekrivanja slojev (angl. *weighted overlay*) v orodju *Spatial Analyst*. Pri izdelavi končne karte je bilo tako uporabljeno večkriterijsko vrednotenje vhodnih podatkov (angl. *multi-criteria evaluation*; Carver 1991), kjer posameznim vhodnim podatkovnim slojem določimo odstotke uteži in s tem določimo njihovo pomembnost, nato pa jih združimo (seštejemo) v skupno karto. Tovrstni pristopi so v rabi za vse prostorske analize, kjer se ugotavlja hkratni vpliv več faktorjev, pri podzemni vodi pa se večkriterijski pristop v glavnem uporablja za ugotavljanje potencialnih območij za izkoriščanje podzemne vode za oskrbo s pitno vodo, namakanje ali umetno napajanje (El-Naqa s sodelavci 2009; Nagarajan in Singh 2009; Riad s sodelavci 2011). Uteži so bile določene subjektivno, saj na primer pristopa za obravnavano tematiko, ki bi omogočil zanesljivo preverbo izbranih pristopov s statističnimi izračuni za določanje uteži posameznih lastnosti (Komac 2003), ni. Večinoma za prve tri do štiri najbolj pomembne prve sloje težav pri izbiri prioritet in uteži srednje pomembnih slojev ni, pri določevanju uteži za relativno manj vplivne sloje pa se lahko pojavijo težave zaradi subjektivnosti (Nath s sodelavci 2000), negotovost pa narašča z vključevanjem



Slika 2: Postopek izdelave končne karte primernosti in utežne vrednosti posameznih vhodnih kart, ki sestavljajo končno karto.

čedalje večjega števila slojev. V prispevku je zato uporabljen pristop z omenjenimi podatki, možno pa bi bilo vključiti tudi dodatne sloje, na primer poplavna območja.

3 Rezultati in razprava

Rezultati in razprava sta sprva podani za posamezne informacijske sloje (karte), kot glavni rezultat pa je podana končna karta primernosti izrabe podzemne vode na območju Spodnje Savinjske kotline. Prikazane so izbrane vhodne karte (sliki 3 in 4) ter končna karta (slika 5) kot glavni rezultat.

Pri obdelavi podatkov o nivojih gladin podzemne vode smo ugotovili, da je globina do nivoja podzemne vode v Spodnji Savinjski dolini zelo različna, saj niha med 0,88 m in 3,57 m. Največja izmerjena globina je bila 8,25 m (med 11. in 14. 3. 2005 na postaji Šempeter), ob obilnih deževjih pa se nivo podzemne vode lahko dvigne tudi do nivoja terena. Povprečna globina do nivoja podzemne vode za celotno območje Spodnje Savinjske doline je 2,80 m, merjeno od kote terena (slika 3A).

Podatki temperatur podzemne vode kažejo najvišje temperature konec jeseni in najnižje sredi pomladi. Najnižja izmerjena temperatura podzemne vode je bila 5,7 °C (6. 3. 2006, postaja Medlog), najvišja pa 20,2 °C (2. 9. 2005, postaja Zgornje Grušovlje). Povprečna temperatura podzemne vode v Spodnji Savinjski dolini za obdobje 2005 do 2008 pa je bila 12,3 °C (slika 3B), kar je precej ugodna temperatura za izkoriščanje toplotnega potenciala podzemne vode za delovanje toplotnih črpalk.

Karta neprepustne podlage (slika 3C) je pokazala, da obstajajo v podlagi posamezne depresije. Najverjetneje gre za depresijske erozije ali posledice paleotokov Savinje in njenih pritokov, manj verjeten pa je tektonski nastanek. Na nekaterih mestih naletimo na neprepustno podlago tudi na globini 33 m, merjeno od kote terena (Uhan 1997).

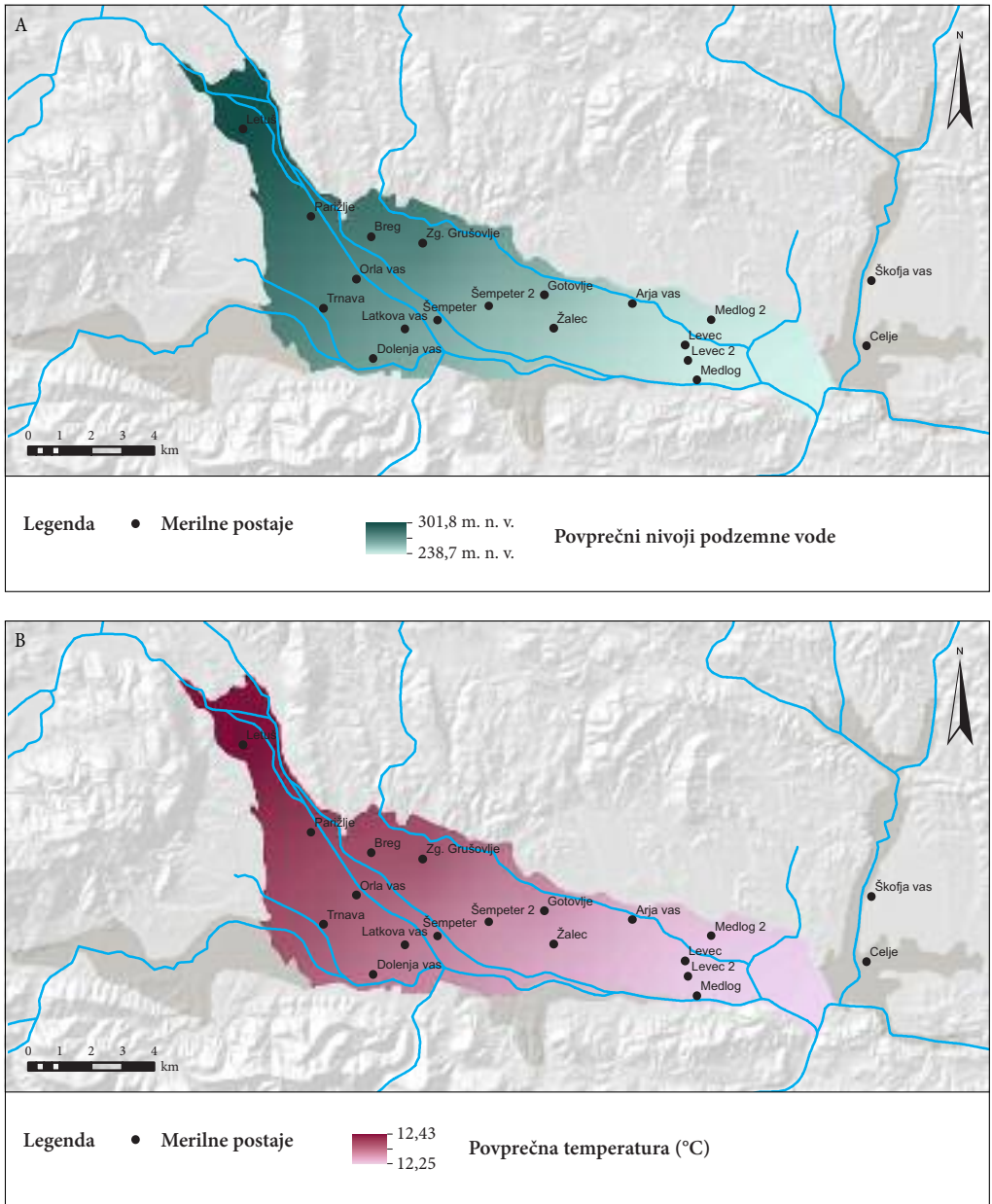
Med podatki za koeficient prepustnosti je bil največji izmerjeni koeficient prepustnosti $3,4 \times 10^{-2}$ m/s in najmanjši $1,69 \times 10^{-5}$ m/s. Kljub velikemu razponu pa celotno obravnavano območje glede na klasifikacijo prepustnosti po Šarinu (Šarin 1984) pripada le dvema razredoma zelo dobre ter srednje do dobre prepustnosti. Najboljša prepustnost je v osrednjem delu Spodnje Savinjske doline, južno od Šempetra in zahodno od Žalca, nekoliko slabša je prepustnost v okolici Dolenje vasi (slika 3D).

Na območju Spodnje Savinjske doline meri debelina omočenega sloja (slika 4A) od 0 do največ 18,28 m (na mestu, kjer je v podlagi depresija). Globina do ravni podzemne vode je največja na obrobni predelih doline, kjer se teren že začne dvigati v okoliško hribovje, najplitveje pa je podzemna voda na območju Celja, Žalca in Zgornjih Grušovelj. Povprečna globina do ravni gladine podzemne vode je 2,8 m (slika 4B).

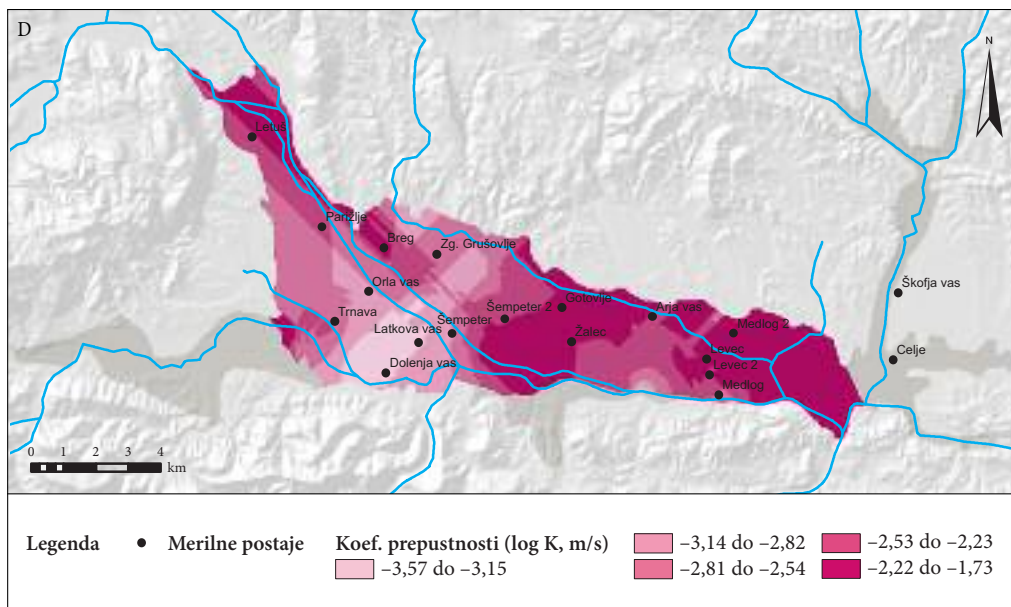
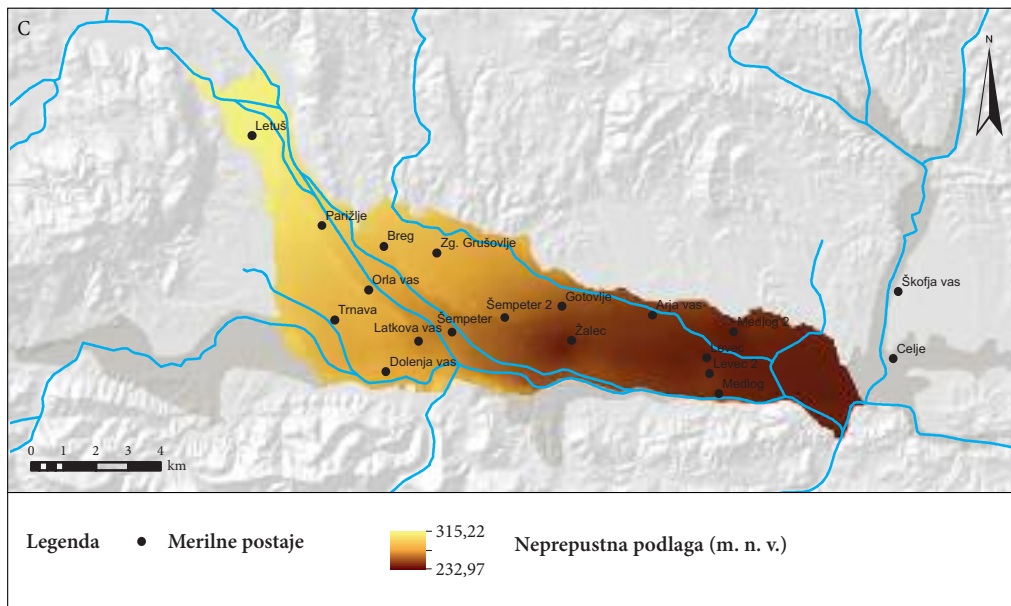
Nihanje gladine podzemne vode je najbolj intenzivno na področju Orle vasi in Medloga (slika 4C). Odvisno je od trenutnih razmer oziroma kratkotrajnih dogodkov. Ker je voda v Spodnji Savinjski dolini dokaj plitvo pod površjem, je vpliv meteornih voda oziroma padavin precej neposredno vezan na nihanje podzemne vode. Rezultati kažejo, da je nihanje precej veliko, saj je razlika med minimalnim in maksimalnim nivojem na nekaterih točkah tudi do 3,58 m (povprečna vrednost za celotno obravnavano območje pa je 2,3 m).

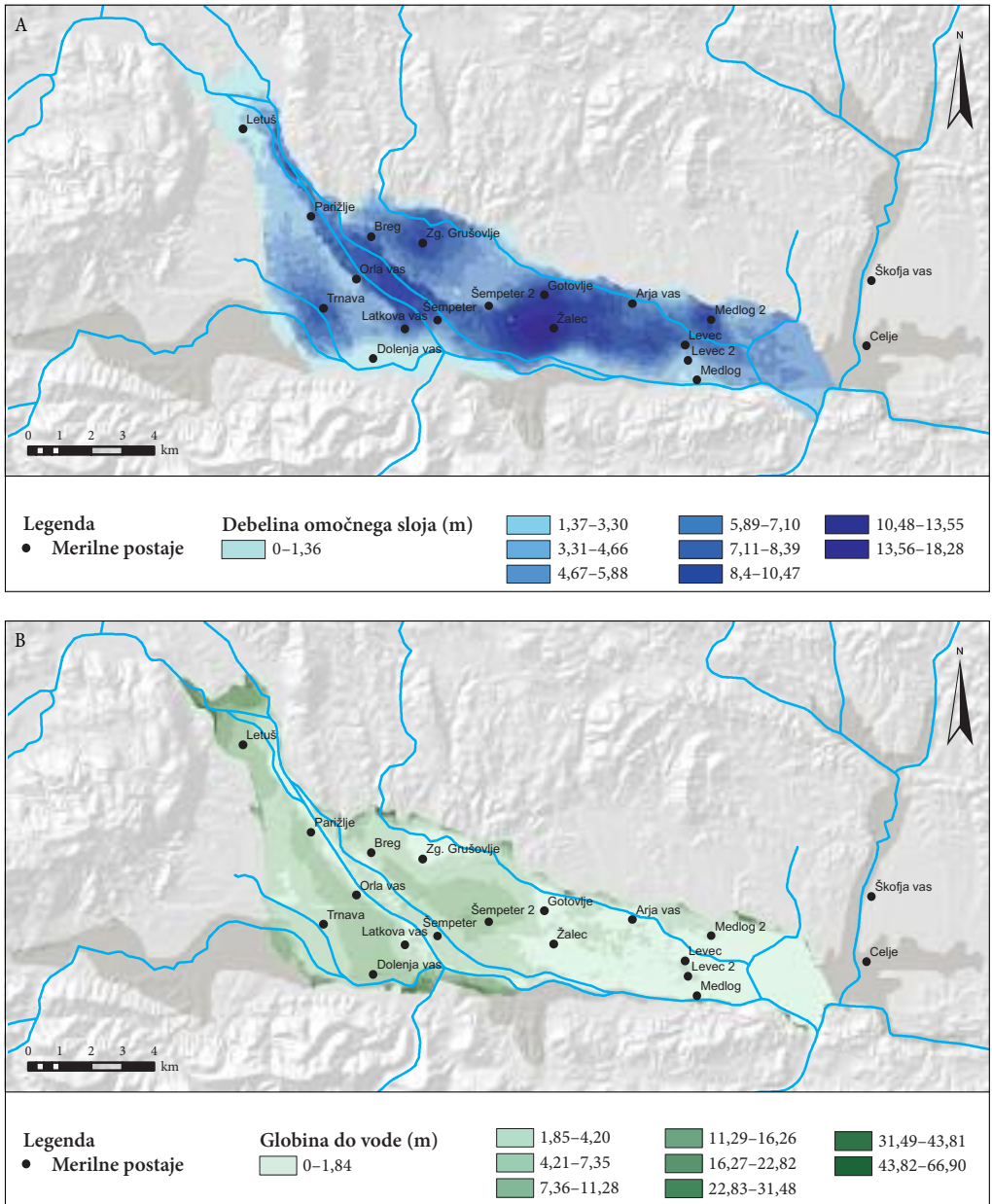
Karta vodovarstvenih območij (slika 4D) kaže, da je trenutno le manjši del obravnavanega območja zaščiten z vodovarstvenimi območji, na katerih veljajo ukrepi različnih stopenj za zaščito podzemne vode.

Iz končne karte primernosti območij za izkoriščanje toplotne energije podzemne vode (slika 5) je razvidno, da je preučevano območje Spodnje Savinjske doline v splošnem precej primerno za izrabo energije podzemne vode prek toplotnih črpalk. Nobeno območje v Spodnji Savinjski dolini ni povsem neugodno za izrabo energije podzemne vode, saj pri skupni karti ni najslabšega oziroma prvega kakovostnega razreda. Relativna primerjava štirih območij primernosti (slika 5) kaže, da je manj primernih območij relativno malo, le nekaj odstotkov, prav tako pa najbolj primernih območij. Več kot polovica območja doline pripada razredu bolj primernih območij, dobra tretjina pa primernim. Najbolj ugodno območje je okrog Žalca, najmanj pa v okolici Dolenje vasi. Splošno gledano je vzhodni del doline primernejši od zahodnega in severnega.

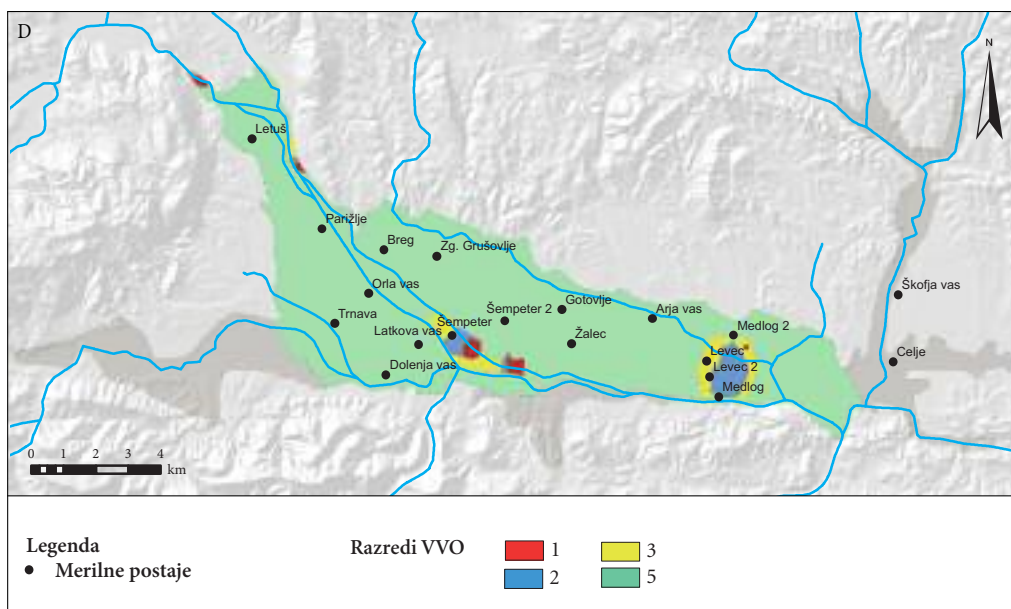
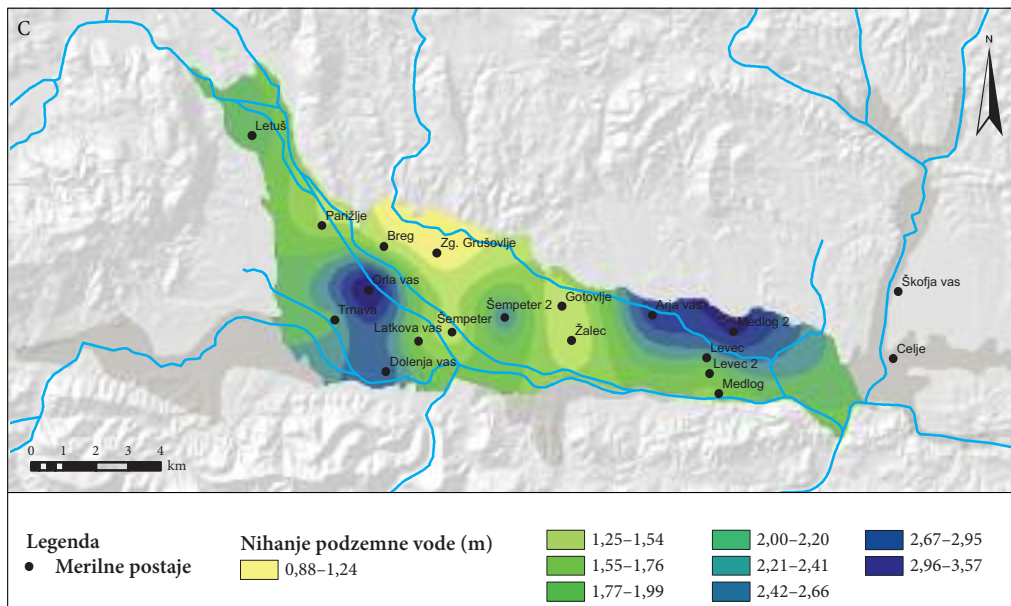


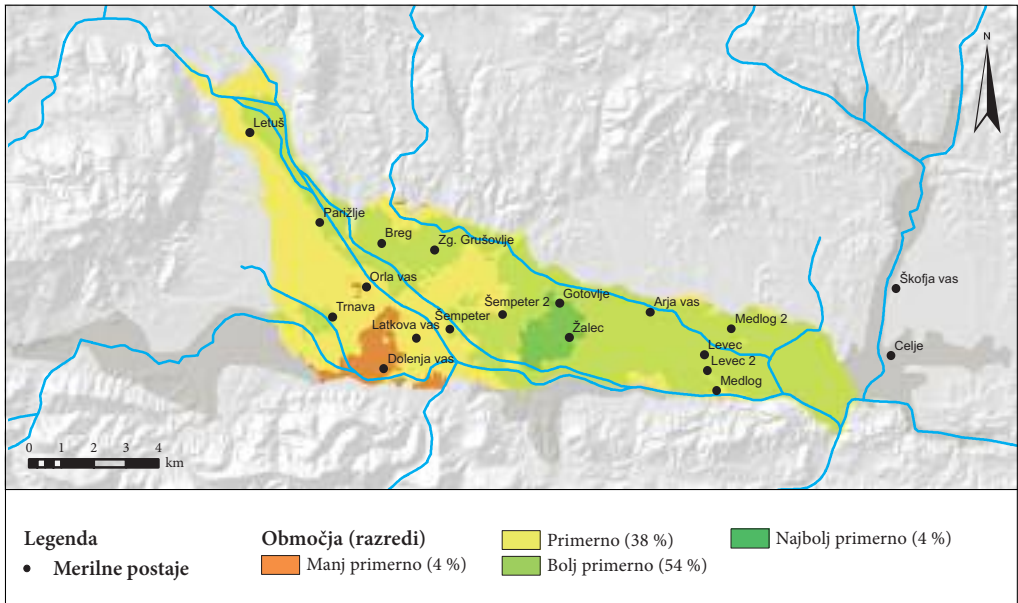
Slika 3: Vhodne neklasificirane karte (podatkovni sloji): A – Karta povprečnih nivojev gladin podzemne vode, B – Karta povprečnih temperatur podzemne vode, C – Karta podlage, D – Karta koeficienta prepustnosti.





Slika 4: Vhodne nerazvrščene karte (podatkovni sloji): A – Karta debeline omočenega sloja, B – Karta globin do povprečnih ravni gladin podzemne vode, C – Karta nihanja podzemne vode, D – Karta vodovarstvenih območij (medmrežje 1).





Slika 5: Končna karta primernosti območij za izkoriščanje toplotne energije podzemne vode.

4 Sklep

S pomočjo programske opreme GIS smo analizirali razpoložljive prostorsko locirane podatke in ugotovili, da je celotno območje Spodnje Savinjske doline precej ugodno za izkoriščanje toplotne energije podzemne vode s toplotnimi črpalkami. Poudarek je bil na iskanju relativnih razlik v primernosti izkoriščanja znotraj obravnavanega območja. Čeprav je možen izbor drugačnih interpolacijskih metod, informacijskih slojev in predvsem drugačnih utežnih vrednosti, menimo, da v splošnem ostajajo manj in bolj primerna območja za izkoriščanje podzemne vode s toplotnimi črpalkami na podobnih predelih. Najbolj ugodno območje je okrog Žalca, najmanj pa v okolici Dolenje vasi. Ob čedalje večji rasti zanimanja za obnovljive vire energije preko izrabe toplotne energije podzemne vode bi tovrsten pristop lahko uporabili tudi za druga območja in posledično poenotili metode in razpore podatkov za celotno Slovenijo. Uporabljeno metodologijo je možno nadgraditi z uporabo dodatnih podatkovnih slojev in jo aplicirati na druga območja vodonosnikov z medzrnsko poroznostjo, v premislek in izziv pa je uporaba metode pri razpoklinskih ali kraških vodonosnikih zaradi njihove heterogenosti in drugačnega režima toka.

5 Viri in literatura

- Buser, S. 1977: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Celje. Beograd.
- Carver, S. J. 1991: Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems* 5.
- Digitalni model višin 25. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2010.
- El-Naqa, A., Hammouri, N., Ibrahim, K., El-Taj, 2009: Integrated Approach for Groundwater Exploration in Wadi Araba Using Remote Sensing and GIS. *Jordan Journal of Civil Engineering* 3.

- Komac, M. 2003: Napoved tveganja pred plazovi z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Doktorska disertacija, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
- Medmrežje 1: http://gis.arso.gov.si/wfs_web (5. 4. 2011)
- Nagarajan, M., Singh, S., 2009: Assessment of Groundwater Potential Zones using GIS Technique. J. Indian Remote Sensing 37.
- Nath, S. S., Bolte, J. P., Ross, L. G., Aguilar-Manjarrez, J., 2000: Application of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. Aquacultural Engineering 23.
- Placer, L. 1997: O premiku ob Savskem prelomu. Geologija 39. Ljubljana.
- Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja. Uradni list Republike Slovenije 64/2004. Ljubljana.
- Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja. Uradni list Republike Slovenije 5/2006. Ljubljana.
- Riad, P. H. S., Billib, M., Hassan, A. A., Salam, M. A., El Din, M. N., 2011: Application of the Overlay Weighted Model and Boolean Logic to Determine the Best Locations for Artificial Recharge of Groundwater. Journal of Urban and Environmental Engineering 5.
- Šarin, A. 1984: Navodilo za izdelavo osnovne hidrogeološke karte SFRJ. Beograd.
- Uhan, J. 1997: Analiza glavnih komponent podatkov o gladini podzemne vode v Spodnji Savinjski dolini. Geološki zbornik 13. Ljubljana.
- Uhan, J., Matajč, I., Trišič, N., Savič, V., Miklavčič, J., Korenčan, M. 1996: Hidrološko-hidrogeološke osnove monitoringa podzemnih vod v Spodnji Savinjski dolini. Ljubljana.
- Uhan, J., Vižintin, G., Pezdič, J. 2011: Groundwater nitrate vulnerability assessment in alluvial aquifer using process-based models and weights-of-evidence method: Lower Savinja valley case study (Slovenia). Environmental Earth Sciences 64.
- Verbovšek, T., Veselič, M. 2008: Factors influencing the hydraulic properties of wells in dolomite aquifers of Slovenia. Hydrogeology Journal 16.
- Vižintin, G. 1999: Uporaba GIS-a pri modeliranju toka podtalnice. Magistrsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.

REGISTER VIROV ONESNAŽEVANJA VODONOSNIKOV LJUBLJANSKEGA POLJA IN LJUBLJANSKEGA BARJA

Mateja Breg Valjavec, dr. Aleš Smrekar

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti
mateja.breg@zrc-sazu.si, ales.smrekar@zrc-sazu.si

Petra Gostinčar

Inštitut za raziskovanje krasa, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti
petra.gostincar@zrc-sazu.si

UDK: 91:504.5(497.451)

IZVLEČEK

Register virov onesnaževanja vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja

Predstavljeni digitalni register virov onesnaževanja vodonosnikov Ljubljanskega polja in barja vsebuje celovit pregled preteklih in sedanjih točkovnih, linijskih in ploskovnih virov, ki predstavljajo potencialno grožnjo virom pitne vode. Podatki za vzpostavitev registra so bili pridobljeni z digitalizacijo analognih podatkovnih baz preteklih bremen, lociranjem z metodami daljinskega zaznavanja ter geolociranjem digitalnih podatkov aktivnih bremen. Register omogoča hiter in enostaven dostop do informacij ter povezave med različnimi viri podatkov in je uporaben v različne namene, na primer pri načrtovanju posegov in monitoringa na obravnavanih območjih, analizah vplivov na okolje, kot strokovna podlaga pa je uporaben za takojšnje ukrepanje v izrednih razmerah.

KLJUČNE BESEDE

geografija, register, podatkovna baza, viri onesnaževanja, okoljsko breme, Ljubljansko polje, Ljubljansko barje

ABSTRACT

Aquifer pollution source registry for the Ljubljansko polje and the Ljubljana barje

The digital aquifer pollution source registry for the Ljubljansko polje and the Ljubljana barje contains a comprehensive overview of past and current point, line or plane pollution sources that represent a potential risk to drinking water sources. The data, necessary for the registry generation, was obtained with the digitalization of analogue data bases of past pollution sources, remote sensing methods, and by geolocating the digital data on potential pollution loads. The registry provides a quick and simple access to specific information and links between different information sources. It is suited for several purposes, such as intervention planning and monitoring the studied areas, environmental impact analyses and can be referenced as a professional expertise in the case of urgent action in extreme conditions.

KEY WORDS

geography, registry, database, pollution sources, pollution load, Ljubljansko polje, Ljubljansko barje

1 Uvod

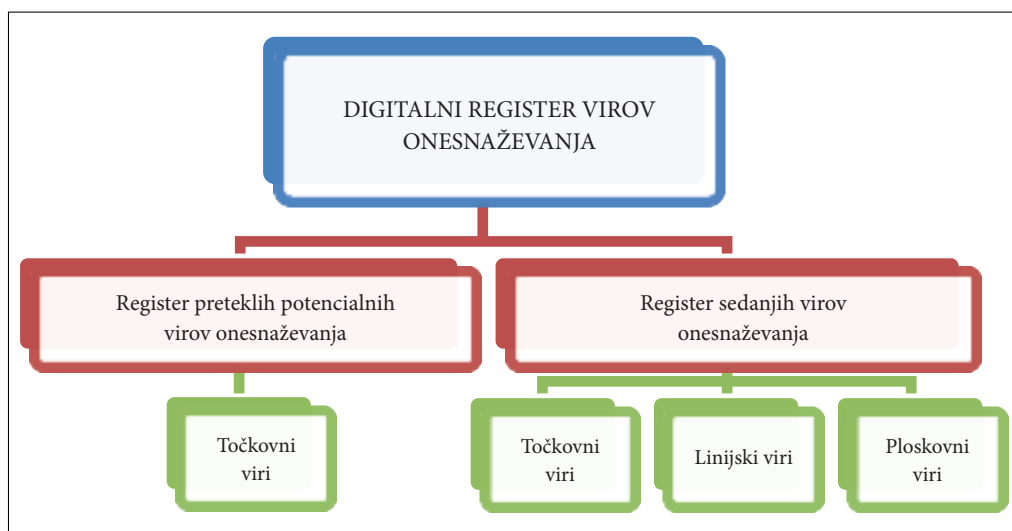
Register preteklih in sedanjih onesnaževalcev okolja je zbirka vseh dostopnih informacij, združena na enem mestu (strežniku). V prispevku predstavljeni primeri so del obsežnega registra onesnaževalcev in predstavljajo stanje na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja (Smrekar s sodelavci 2010).

Glavna vodna vira, ki ju izkoriščamo za javno oskrbo s pitno vodo v Ljubljani, sta prav aluvialna vodonosnika na Ljubljanskem polju in Ljubljanskem barju, ki ju je naplavila reka Sava s svojimi pritoki. Območji polja in barja sta geološko gledano tektonski udorini, nastali s tektonskim pogrežanjem in postopnim zasipavanjem z rečnimi in jezerskimi naplavinami (INCOME 2012) ter v sodobnem času zelo urbanizirani s številnimi raznovrstnimi dejavnostmi.

Vzpostavitev takšnega registra je nujna, saj brez temeljnih informacij, katere aktivnosti potekajo oziroma so potekale v prostoru in predstavljajo okoljska tveganja, ustreznih ukrepov za dolgoročno zaščito vodnih virov ni mogoče načrtovati. Prav tako so pomembne informacije, ali so dejavnosti morda potekale pred časom, posledice pa so še zaznavne, oziroma ali obstaja tveganje, da se posledice že ukinjenih dejavnosti pojavijo celo v prihodnjem obdobju.

2 Metode in rezultati s primeri

Digitalni register sedanjih aktivnih in starih potencialnih virov onesnaževanja vodonosnikov je seveda obsežnejši, kot je predstavljen v prispevku, saj je verjetnost morebitnega recentnega onesnaženja precej pestra. Sestavljajo ga tako točkovni, linijski kot ploskovni viri onesnaževanja. Pomembnejši točkovni viri, ki so vključeni v register, so večji industrijski onesnaževalci vode in objekti iz drugih dejavnosti ter tudi točkovni onesnaževalci z ogljikovodiki. Evidentirane so tudi lokacije izcednih vod iz komunalnih in divjih odlagališč odpadkov, potencialni točkovni viri neprečiščenih odpadnih vod iz kanalizacijskih objektov neposredno v podtalnico ali vodotok (predvsem požiralniki in ponikovalnice) in lokacije greznic. Seveda predstavljajo tudi pri sedanjih virih gramoznice in divja odlagališča odpadkov v njih veliko grožnjo okolju, zato jim je bila posvečena posebna pozornost. Med pomembnejšimi sedanjimi linijskimi



Slika 1: Shematski prikaz zgradbe digitalnega registra.

viru onesnaževanja sta kanalizacijsko omrežje in obremenitve prometnic. Skupno smo evidentirali več kot 80.000 točkovnih, linijskih in ploskovnih objektov v 20 skupinah.

Morebitna stara bremena še vedno predstavljajo grožnjo viru pitne vode. Gre za točkovne objekte, ki so bili praviloma vključeni v razne evidence iz osemdesetih let 20. stoletja. To so industrijski obrati, ki so praviloma proizvajali, uporabljali ali skladiščili nevarne snovi. Poleg večjih industrijskih obratov, so pridobljeni podatki tudi za manjše, vendar bolj nevarne objekte, kot so kemične čistilnice, lakirnice ter obrati za površinsko obdelavo in zaščito kovin. Posebna skrb je bila namenjena določitvi lokacij nekdanjih, danes zasutih gramoznic, ki še vedno skrivajo številna neznana bremena in predstavljajo nepredvidljivo grožnjo podtalnici.

Vsebinska in zgradba digitalnega registra sta zelo obsežni in celostni, zato v nadaljevanju prispevka predstavljamo nekaj metodološko zanimivih primerov.

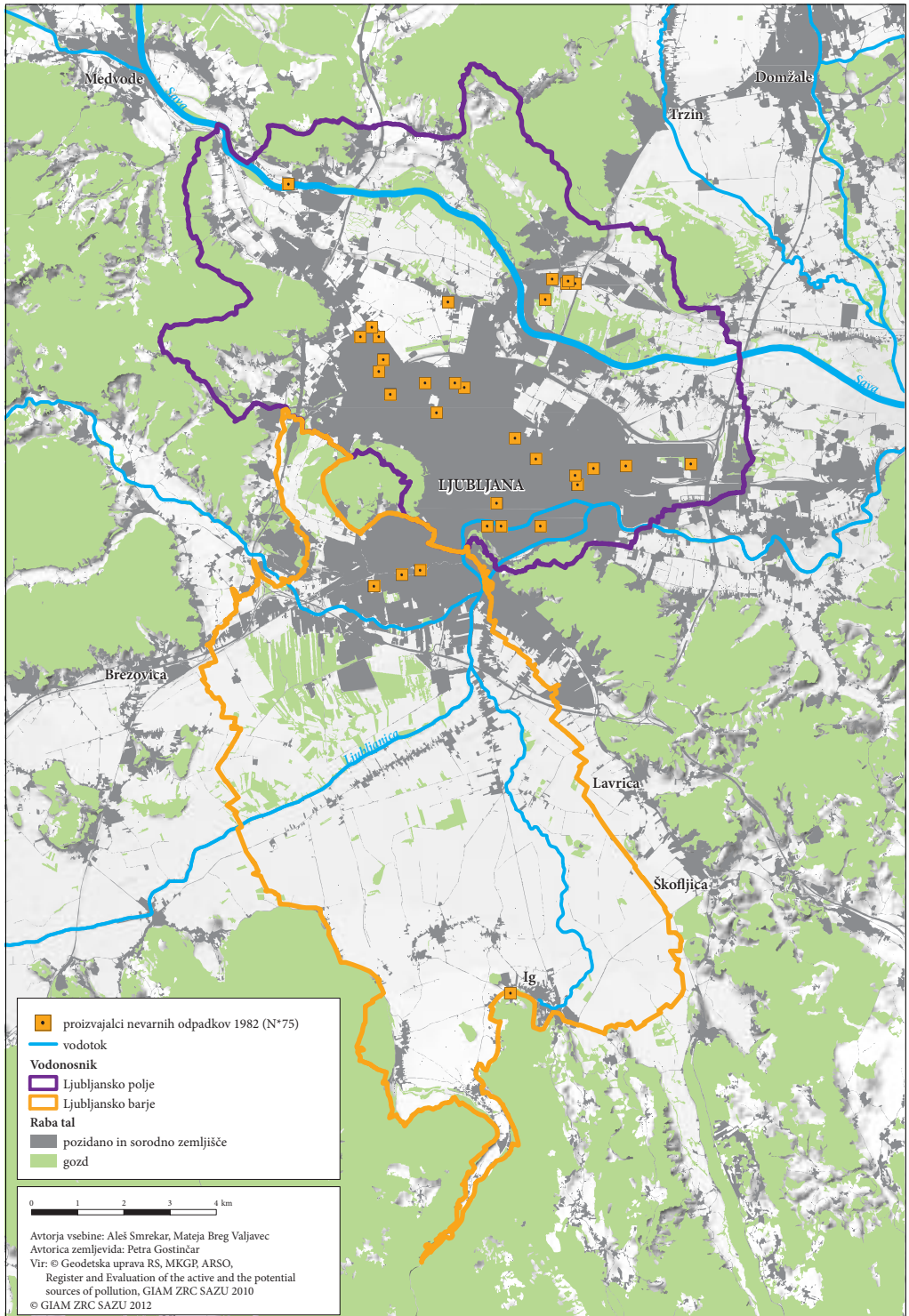
3 Lociranje nekdanjih proizvajalcev nevarnih odpadkov do leta 1991

Temeljni problem: Za preteklo socialistično obdobje do devetdesetih let 20. stoletja je bilo značilno neučinkovito izvajanje zakonov in »industrokracija«, kar pomeni, da je imela industrija v Sloveniji tako močan vpliv na politiko in upravo, da je lahko dolga leta brez kaznovanja onesnaževala okolje. To je bilo posledica vsesplošne ideološke želje po čim večjem številu industrijskih delavcev. Industrija je to vlogo izrabljala z brezvestnim ravnanjem z odpadnimi snovmi. Velika onesnaženja so bila poznana že v sedemdesetih in osemdesetih letih 20. stoletja (Breznik 1990). Sredi 80-ih let so na primer kislina iz Galvanike v Šentvidu pri Ljubljani povsem razžrle betonsko kanalizacijo v prepustnemrodu, ker podjetje ni saniralo obratnih prostorov pred razširitvijo proizvodnje kromiranja. Kmalu za tem sta bila s kromom onesnažena najbližja vodnjaka v Klečah, iz katerih so dve leti črpali »pitno« vodo v kanalizacijo. Zaradi onesnaženja vode v črpališču Jarški prod so v Ljubljani jeseni 1988 začeli z več kot enoletnim črpanjem podtalnice v Savo. Kemiki so našli samo v odpadnih vodah Colorja v Medvodah, v podtalnici pod Colorjem, v Savi pod Medvodami in v več kot 10 kilometrov oddaljenem črpališču Jarški prod na Ljubljanskem polju značilno sledno spojino dimetil-etil-dioksan, ki naj bi bila »prstni odtis« odpadnih voda Colorja (Breznik 1990). Slednji primer kaže na širjenje onesnaževal po vodi na velike razdalje in po različnih vodnih medijih (površinske tekoče vode, podtalnica).

Izdelava informacijskega sloja: Seznam industrijskih objektov, ki so proizvajali nevarne snovi, je bil narejen na podlagi natančnega pregleda podatkov o odpadnih materialih v različnih industrijskih sektorjih. Podatki so bili zbrani na podlagi takrat izpolnjenih popisnih obrazcev s strani delovnih organizacij. Pričujoči popis je zasnovan na podatkih o količinah in sestavi odpadkov v letu 1982 (Grilc, Husić 1984). Študijo, ki je v obdobju nastanka ostala na ravni analognega registra, smo podrobno analizirali. Podatke smo spremenili v digitalno obliko (analogni register je vseboval podatek o lokaciji) in izdelali informacijski sloj z vsemi obstoječimi podatki, kjer smo največ pozornosti namenili količini odpadkov, vrsti nevarnih odpadkov in načinu ravnanja z njimi.

Uporabnost informacijskega sloja za nadaljnje analize: Podrobneje smo analizirali podatke za območje vodonosnika Ljubljansko polje in s tem obravnavali 35 podjetij, v okviru katerih je delovalo 65 proizvodnih obratov. Kot primer proizvajalca nevarnih odpadkov znotraj kovinske industrije navajamo Tovarno kovinske galanterije, ki je imela v prvi polovici osemdesetih let 20. stoletja štiri proizvodne obrate, ki so uporabljali različne proizvodne procese in proizvajali različne tipe industrijskih odpadkov. Ti obrati so bili galvana, lakirnica, obrat za toplotno obdelavo kovin in obrat montaže. V galvani je letno nastajalo okrog 45 ton zelo strupenih trdnih odpadkov (kovinski hidroksidi (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+}), cianidi, fosfati, nitriti), ki so jih po predhodnem postopku shranjevali v 200 litrskih sodih in odlagali na odlagališče komunalnih odpadnih snovi. V obratu za toplotno obdelavo kovin so leta 1982 proi-

Slika 2: Proizvajalci nevarnih odpadkov leta 1982 (Grilc in Husić 1984). ► (str. 48)



zvedli 2250 kg nekoliko manj nevarnih odpadkov kalilnega repičnega olja, ki so ga po predhodnem postopku odložili na odlagališče komunalnih odpadnih snovi. Lakirnica je proizvedla 300 kg zelo nevarnih odpadnih snovi (smole, svinčevi kromati, Zn-kromat, TiO_2 , butanol, ksilen) v trdnem stanju, ki so jih prav tako po predhodnem postopku odložili na odlagališče komunalnih odpadnih snovi. V preostalih obratih so proizvedli še okrog 1500 kg motornih olj in masti v obliki goščice, skladiščene v 200 litrskih kovinskih sodih. Pri nekaterih drugih podjetjih so se pogosto pojavljali nevarni odpadki v sodih, ki so jih odložili neznano kam. Skladno s tem smo izdelali tudi informacijski sloj z nekdanjimi gramoznicami, kjer so pogosto odlagali sode z nevarnimi odpadki.

4 Lociranje potencialnih lokacij odlaganja odpadkov med letoma 1959 in 1994

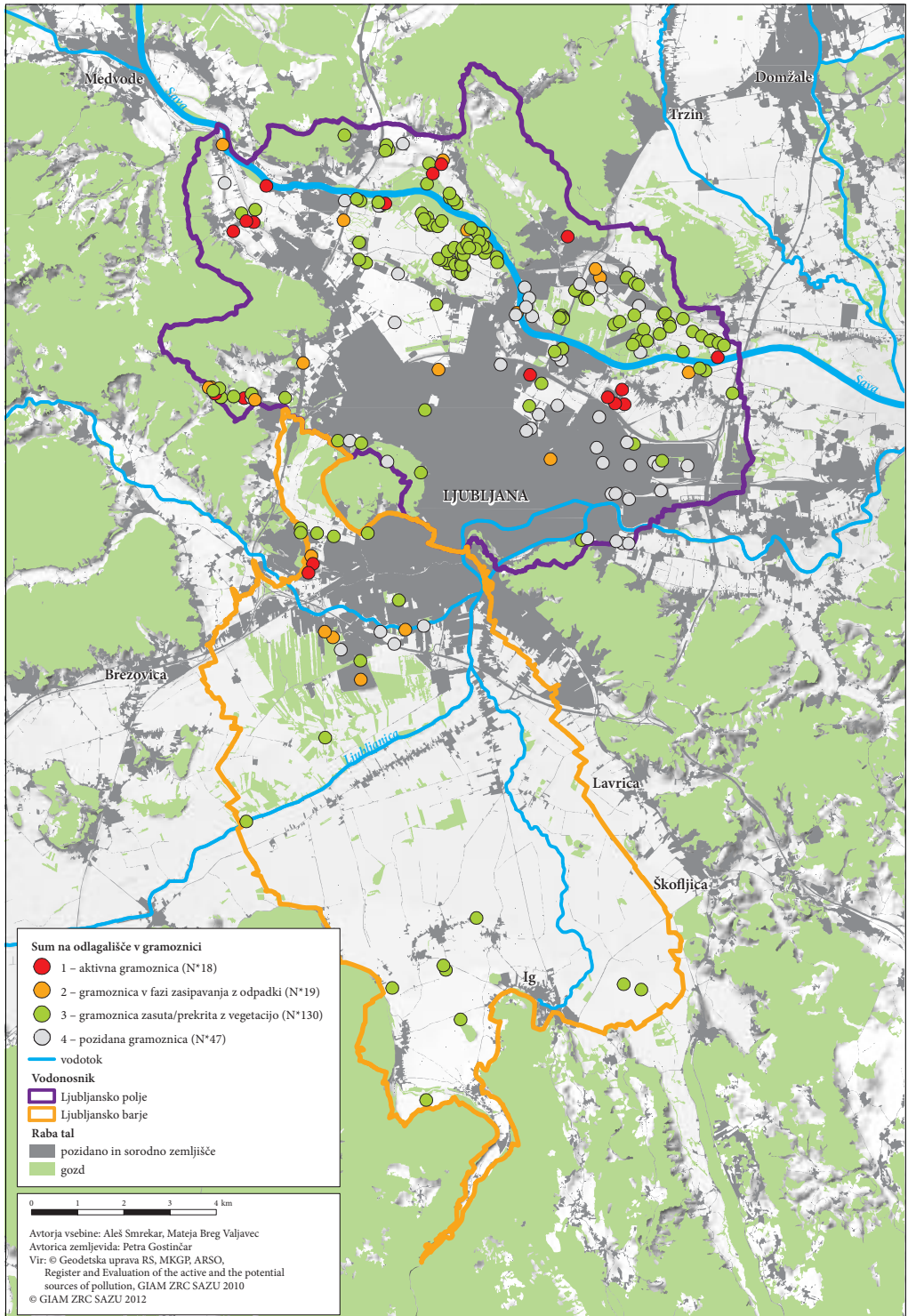
Temeljni problem: Z vidika preučevanja nekdanjih odlagališč je zelo pomembno dejstvo da, »... *problematika industrijskih odpadkov še zdaleč ni bila raziskana in da se večino teh snovi ni odlagalo na običajnih odlagališčih* ...« (Orožen Adamič in Pleskovič 1975). Problem nekdanjih (zasutih) divjih odlagališč ostaja nerešen do danes kljub dejstvu, da je registrov divjih odlagališč za območje Ljubljane več (Kušar 2000; Smrekar s sodelavci 2006). Vzporedno z rastjo mesta se je večala količina odpadkov in s časom spreminjala tudi njihova struktura. Najprej so prevladovali organski odpadki, v sedemdesetih letih 20. stoletja pa so začele naraščati količine anorganskih (tudi nevarnih) odpadkov in količina odpadkov na prebivalca. Leta 1975 je bilo v Ljubljani urejeno zbiranje in odvoz odpadkov na območju celotnega mesta (brez obmestnih naselij Gameljne, Medno, Medvode). Z vidika divjega odlaganja odpadkov se je gramoznic celostno lotil Kosmač (1988). V Sloveniji je po ocenah nekaj tisoč opuščeni gramoznic s površinami od 10 m² do 10.000 m². Samo na Ljubljanskem polju so evidentirali več sto gramoznic v skupnem obsegu več kot 200 ha, kar pomeni več kot 3 % njegove površine. Večino gramoznic so po prenehanju kopanja proda enostavno prepustili naravnemu preoblikovanju, veliko pogosteje pa celo odlaganju zelo različnih odpadkov (Radinja v Konjar 2001). Tudi raziskave o prisotnosti divjih odlagališč odpadkov na Ljubljanskem polju (Kušar 2000; Smrekar 2007) kažejo na osredotočenje divjih odlagališč v opuščeni gramoznicah in drugih površinskih kopih (na primer Jarški prod: 75 % popisanih odpadkov, 30.000 m³ je v gramoznicah), tudi na varstvenih območjih vodnih virov. Že v sedemdesetih letih so odlagali odpadke v opuščeni gramoznicah tudi na severnem obrobju mesta (Orožen Adamič in Pleskovič 1975). »... *Izcedne vode z divjih odlagališč v gramoznicah še posebej ogrožajo podtalnico. Na številnih odlagališčih smo našli na nevarne odpadke, katerih snovi bi lahko vplivale na kakovost pitne vode* ...« (Breg in Urbanc 2005).

Izdelava informacijskega sloja: Za pridobivanje podatkov smo uporabili metode daljinskega zaznavanja. V prvi fazi smo uporabili 3D stereo aerofotointerpretacijo arhivskih letalskih posnetkov. Rezultate smo dopolnili s pomočjo Vizualne interpretacije digitalnega ortofota (Digitalni ortofoto posnetki, CAS 2006, © GURS) in avtomatske obdelave multispektralnih letalskih in satelitskih posnetkov. Uporabili smo naslednje vire podatkov:

- arhivski letalski posnetki iz let 1959, 1964, 1975, 1985, 1994 (© GURS 2009),
- RGB (*red, green, blue*) in IRRG (*infrared, red, green*) DOF (Digitalni ortofoto posnetki, CAS 2006, © GURS),
- multispektralni satelitski posnetek GeoEye1 (datum snemanja 17. 8. 2009),
- terenski popis vidnih divjih odlagališč odpadkov 2006 (© GIAM ZRC SAZU 2006).

Vizualno aerofotointerpretacijo smo izvedli na izbranih arhivskih letalskih posnetkih. Izvedli smo točkovne (deloma poligonske) vektorizacije lokacij (grafična baza) in izdelali atributne baze za vsako reprezentativno leto posebej: površina gramoznice, stanje gramoznice, raba tal in dostop. Avtomatska obdelava IRGB DOF-ov je temeljila na analizi bližnjeinfrardečega sloja, ki smo ga izolirali iz IRGB posnetka. V tem primeru območja zasutih gramoznic pogosto vidimo z zelo visokimi vrednostmi in ta sovpadajo s suhimi toplimi objekti na zemeljskem površju, ki imajo višje vrednosti v bližnjeinfrardečem kanalu

Slika 3: Delitev nekdanjih gramoznic glede na sum pod površjem odloženih odpadkov. ► (str. 50)



(neasfaltirane ceste, odprte nepozidane površine). Za zasute gramoznice je značilna tudi zelo heterogena tekstura, kjer prevladujejo višje vrednosti, oziroma se izkazujejo višje vrednosti na njihovih robovih. Rezultate smo povezali s poligoni gramoznic, ki so bile določene na starih letalskih posnetkih in določili območja objektov, ki se prekrivajo. Podobno analizo smo izvedli na multispektralnem satelitskem posnetku, kjer je infrardeči kanal posnet v primerljivih valovnih dolžinah za analizo vegetacije. Štiri-kanalni satelitski posnetek smo uporabili tudi za določitev indeksa poškodovanosti vegetacije (na primer NDVI), da smo rezultate izboljšali na območjih, ki imajo vegetacijski pokrov (gozd, območja zaraščanja, travniki). Končno število identificiranih gramoznic v tem obdobju je 214, od tega 130 zasutih in že delno ali povsem poraslih z vegetacijo, 47 delno ali povsem pozidanih, 19 pa jih je celo še v fazi zasi-pavanja z odpadki. To pomeni, da je le 8 % gramoznic »ohranjenih« v prvotnem stanju.

Uporabnost informacijskega sloja za nadaljnje analize: V primeru nenadnega onesnaženja z nevarnimi snovmi, katerih možnega vira ni mogoče razbrati iz aktivnih onesnaževalcev, je informacijski sloj gramoznic v povezavi z drugimi sloji (na primer bližina nekdanjih proizvajalcev nevarnih snovi) v pomoč za lociranje potencialnih odlagališč nevarnih odpadkov.

5 Današnji onesnaževalci in njihova stopnja tveganja za podtalnico

Temeljni problem: Na območju vodonosnikov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja stojijo mnogi poslovni objekti, katerih delovanje je potencialno nevarno za onesnaženje podtalnice. Njihovo stopnjo tveganja smo določili glede na trenutno prisotnost onesnaževal v podtalnici (Cr^{6+} , tetrakloroetilen, trikloroetilen in druge nevarne snovi).

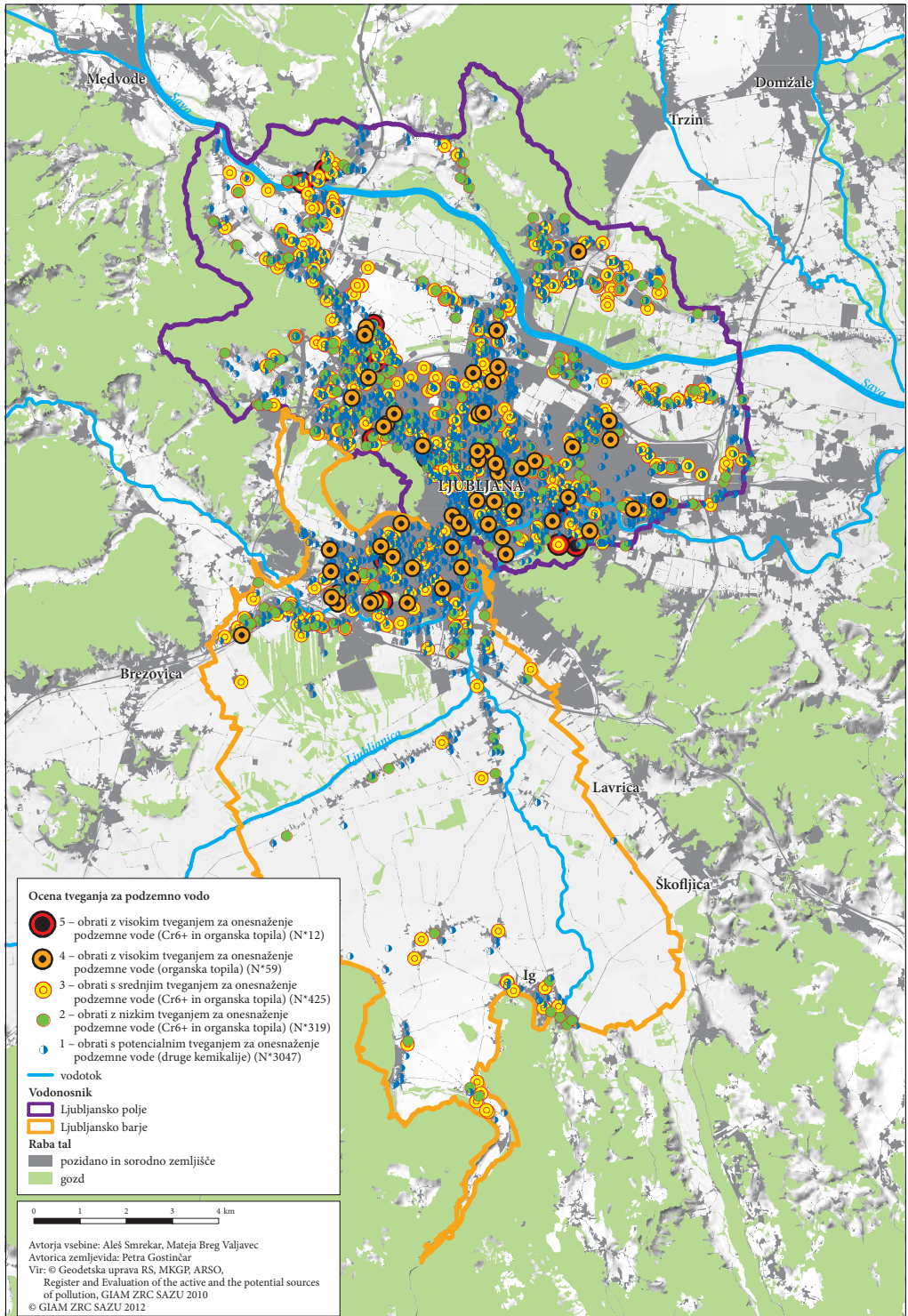
Izdelava informacijskega sloja: Primarni digitalni podatki so shranjeni v digitalni Accessovi podatkovni bazi. To so tabelarični podatki o poslovnih subjektih (PRS, stanje marec 2009), ki jih je bilo treba geolocirati, kar smo storili s povezovanjem na EHIŠ prek identifikatorja hišnih števil (HS_MID). Skupno število potencialnih objektov je 3862 in predstavljajo le dobrih 10 % vseh registriranih objektov (37.184) v obravnavani podatkovni bazi, ki jih predstavljajo posamezni, predvsem proizvodni obrati. Na podlagi osnovne dejavnosti, razvrščene po Standardni klasifikaciji dejavnosti (SKD 2010), smo dejavnosti razvrstili v 5 skupin tveganja za podtalnico. Podatke smo povezali z rezultati ugotovitev projektnih partnerjev na temo določitve aktualnih onesnaževal v podtalnici na preučevanem območju (Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija, Geološki zavod Slovenije, Agencija Republike Slovenije za okolje, Mestna občina Ljubljana). Podatki so prostorsko vezani na sedež podjetja, zato so v primerih, kjer proizvodnja poteka na drugotni lokaciji, podatki nepredmetni. Poleg številnih atributov, ki so predstavljeni v datoteki, smo v zadnjem stolpcu določili poseben atribut, to je stopnja tveganja, ki jo obrat povzroča za podtalnico.

Skupno oceno tveganja za podtalnico smo določili glede na aktualna onesnaževala v podzemni vodi (Cr^{6+} , tetrakloroetilen, trikloroetilen in druge nevarne snovi, kemikalije):

- obrati s potencialnim tveganjem za onesnaženje podzemne vode (druge kemikalije) (N 3047),
- obrati z nizkim tveganjem za onesnaženje podzemne vode (Cr^{6+} in organska topila) (N 319),
- obrati s srednjim tveganjem za onesnaženje podzemne vode (Cr^{6+} in organska topila) (N 425),
- obrati z visokim tveganjem za onesnaženje podzemne vode (organska topila) (N 59),
- obrati z visokim tveganjem za onesnaženje podzemne vode (Cr^{6+} in organska topila) (N 12).

Uporabnost informacijskega sloja za nadaljnje analize: V primeru nenadnega onesnaženja z nevarnimi snovmi, katerih možni vir so aktivni onesnaževalci, je informacijski sloj v povezavi z drugimi sloji (točkovni viri očiščenih odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav (zavezanci za poročanje Agenciji Republike Slovenije za okolje) s številnimi reprezentativnimi kemijsko-biološkimi in fizikalnimi parametri za posamezno dejavnost) v pomoč za natančno lociranje vira onesnaženja.

Slika 4: V registru je datoteka prikazana po atributu »Ocena tveganja za podzemno vodo«. ► (str. 52)



6 Sklep

Izbrane metode so običajne za pripravo digitalnih registrov, ki zajemajo podatke o današnjem stanju. Skladno s tem pri novih geolociranih bazah nismo naleteli na prevelike zagate. Na številne probleme smo naleteli zlasti pri geolociranju objektov iz starih analognih baz, saj številni niso bili opremljeni s prostorskimi koordinatami ter pri interpretaciji letalskih in satelitskih posnetkov. Zato smo morali opraviti obsežno terensko preverbo zajetih podatkov.

Problematika, na katero smo naleteli, je bila pričakovana: podatki, ki naj bi spadali v tovrstne registre, so razpršeni na različnih naslovih, institucije zbirajo podatke izključno za določene namene, zato podatki ne nosijo popolnih informacij, podatki so nedostopni zaradi varovanja informacij zaupne narave, nosilci podatkov so nezaupljivi do distribucije podatkov zaradi morebitnih zlorab, nekateri podatki se zbirajo, a so dostopni le v agregirani obliki, nekateri podatki so dostopni le v tiskani obliki, ali v e-obliki, ki ni primerna za nadaljnjo obdelavo, nekateri nosilci podatkov pa enostavno ne izkazujejo pripravljenosti za sodelovanje.

Potrebo po enotnem registru onesnaževalcev že vrsto let izražajo ustanove na lokalnem in državnem nivoju, ki se ukvarjajo z načrtovanjem rabe prostora, ugotavljanjem vplivov na okolje in iskanjem povzročiteljev okoljskih obremenitev. Kar nekaj poskusov delnih vzpostavitve registra onesnaževalcev je že bilo v preteklosti, a tako celovitega pregleda, kot je ta, še ni bilo. Register omogoča hiter in enostaven dostop do informacij ter povezave med različnimi viri podatkov.

Register je uporaben na različnih področjih in v različne namene, in sicer:

- kot strokovna podlaga za takojšnje ukrepanje ob izrednih razmerah v okolju,
- pri delu inšpekcij, ki se ukvarjajo z nadzorom nad onesnaževalci, in v primeru havarij, saj register omogoča sledljivost do potencialnih virov onesnaženja,
- kot strokovna podlaga za pripravo ukrepov v zvezi z obvladovanjem tveganj za okolje in zdravje ljudi v primeru okoljskih nesreč,
- pri analizi celovitih vplivov na vodne vire in okolje,
- pri načrtovanju emisijskega nadzora,
- pri pripravi sanacijskih programov degradiranega okolja,
- pri spremljanju kazalnikov varstva okolja,
- kot eden od temeljev za ustrezno prostorsko načrtovanje,
- pri načrtovanju oskrbe s pitno vodo in upravljanju vodovodnih sistemov.

Slovenija rabi centralizacijo meta podatkovnih okoljskih baz, obenem pa je treba od pristojnih ustanov, zadolženih za področje okolja in zdravja prebivalcev, zahtevati, da določijo upravljavca vozlišča okoljskih meta podatkovnih baz, vrste vstopnih podatkov in njihove skrbnike ter metodologijo pridobivanja in tvorbe baz podatkov. Ker je zbiranje okoljskih podatkov v tem trenutku parcialno in zato neracionalno, je treba prevetriti zakonodajo, vzpostaviti tesnejše sodelovanje ministrstev in osnovati mehanizme, ki bodo poenostavili delo poročevalcev in preprečili, da bi se njihove obveznosti podvajale. Okoljski podatki so namreč zbrani na neenoten način, kar otežuje njihovo dostopnost in uporabo, zato bi bilo treba preveriti primernost dosedanjega zbiranja okoljskih podatkov s ciljem, da bi zbirke podatkov služile več namenom hkrati (Zabeležka ... 2010).

*Zahvala: Prispevek je rezultat raziskave *Improved management of contaminated aquifers by integration of source tracking monitoring tools and decision strategies – INCOME*, ki je financiran v okviru programa/finančnega mehanizma Evropske unije LIFE+, LIFE07 ENV/SLO/000725.*

7 Viri in literatura

Arhivski letalski posnetki: PAS 1959, PAS 1964, CAS 1975, CAS 1985, CAS 1994, Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2009.

- Breg, M., Urbanc, M., 2005: Gramoznice in dileme (ne)trajnostnega razvoja degradirane obrečne pokrajine. IB Revija 4. Ljubljana.
- Breznik, M., 1990: Ogroženost podtalnice. Ujma 4. Ljubljana.
- Ceste Republike Slovenije, DRSC. Ljubljana, 2009.
- Digitalni ortofoto posnetki (DOF IRRG in RGB), CAS 2006. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2009.
- Grilc, V., Husić, M. 1984: Kataster posebnih odpadkov v Ljubljanski regiji. Kemijski inštitut »Boris Kidrič«. Ljubljana.
- INCOME, 2012. Medmrežje: www.life-income.si (1. 3. 2012).
- Kataster kanalizacijskih objektov, JP VO-KA. Ljubljana, 2009.
- Konjar, Ž. 2001: Pokrajinske značilnosti gramoznic v Ljubljanski kotlini. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kosmač, P. 1988: Problematika gramoznic v zvezi z zaščito okolja: teoretični aspekti. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kušar, S. 2000: Geografske značilnosti odlagališč odpadkov na Ljubljanskem polju. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Orožen Adamič M., Pleskovič, B. 1975: Problemi okolja in odlaganje trdih odpadkov v Ljubljani. Geografski vestnik 47. Ljubljana.
- Poslovni register Slovenije (PRS). AJPES. Ljubljana, stanje marec 2009.
- Priprava in izvedba štetja cestnega motornega prometa v Mestni občini Ljubljana. PNZ svetovanje projektiranje d. o. o., Ljubljana, 2008.
- Satelitski posnetek GeoEye. © GeoEye. Herndon, Združene države Amerike, datum snemanja 17. 08. 2009.
- Smrekar, A. 2007: Divja odlagališča odpadkov na območju Ljubljane. Georitem 1. Ljubljana.
- Smrekar, A., Bole, D., Breg Valjavec, M., Gabrovec, M., Gašperič, P., Ciglič, R., Pavšek, M., Topole, M. 2010: Register and evaluation of the active and the potential sources of pollution. Končno poročilo akcije A.2.1. projekta INCOME. Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Ljubljana.
- Smrekar, A., Breg Valjavec, M., Slavec, P., Bračič-Železnik, B., Jamnik, B. 2006: Odlagališča odpadkov na vodovarstvenem območju, pomembnem za oskrbo MOL s pitno vodo. Elaborat, Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Ljubljana.
- Standardna klasifikacija dejavnosti (SKD). AJPES. Ljubljana, 2010.
- Zabeležka 1. delavnice INCOME: Register onesnaževalcev – zadetek INCOME v polno ali slepa ulica? www.life-income.si. Ljubljana.

UPORABNOST NEMERSKIH FOTOGRAFIJ ZA PREUČEVANJE POPLAV – PRIMER POPLAV NA DOBREPOLJU SEPTEMBRA 2010

dr. Mihaela Triglav Čekada

Geodetski inštitut Slovenije

mihaela.triglav@gis.si

dr. Matija Zorn

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

matija.zorn@zrc-sazu.si

UDK: 911.2:556.166(497.4Dobrepolje)"2010"

528.7:556.166(497.4Dobrepolje)"2010"

IZVLEČEK

Uporabnost nemerskih fotografij za preučevanje poplav – primer poplav na Dobropolju septembra 2010
Septembra leta 2010 so Slovenijo prizadele obsežne poplave. Z nemerskim fotoaparatom so bila iz helikopterja posneta poplavljeni območja na Ljubljanskem barju, Radenskem polju ter Dobropolju. Predstavljena je obdelava fotografije s stranskim pogledom na Dobropolje. S posnetka, ki je bil interaktivno orientiran z uporabo DMR 5 krat 5 m, je bil ocenjen obseg poplave.

KLJUČNE BESEDE

poplave, interaktivna orientacija, obdelava nemerskih posnetkov, DMV, poplave 2010, Dobropolje

ABSTRACT

Non-metric images as a tool for floods research – the example of floods on Dobropolje in September 2010
One of the greatest floods in the last few decades affected Slovenia in September 2010. Handheld non-metric images of the floods on Ljubljansko barje, Radensko polje and Dobropolje were taken from the helicopter. The metric processing of the Doprepolje oblique image is presented in the paper. The image was interactively oriented by using DTM 5 × 5 m what provided the possibility to estimate the extent of the flood in the study area.

KEY WORDS

floods, interactive orientation, non-metric image processing, DTM, floods 2010, Dobropolje

1 Uvod

Nemerski fotoaparati so ponavadi prvi, s katerimi se dokumentira posledice nenadnih naravnih pojavov. Ker snemalci ponavadi nimajo znanja, kako je treba fotografirati pojave, da bi s tem omogočili naknadno fotogrametrično restitucijo, moramo ponavadi pri obdelavi takih posnetkov uporabiti nestandardne fotogrametrične metode. Večinoma imamo opraviti s posameznimi posnetki, kar nam zelo omeji možnost izmere 3D-podatkov. Posamezen posnetek lahko naorientiramo na obstoječi fotogrametričen 3D-model, izdelan s preseki, če so iz posnetka dovolj dobro vidne identične vezne točke (Grussenmeyer in Yasmine 2004), iz aerosposnetkov pa lahko izmerimo relativne višine s pomočjo senc ali osenčenj na podlagi klinometrije (Kirk s sodelavci 2003). Pri aerosposnetkih lahko uporabimo tudi postopek monoplotinga, kjer pod aerosposnetek podložimo digitalni model višin DMV (Willneff in sod. 2005). Da lahko uporabimo te metode, moramo dobro poznati elemente notranje orientacije posnetka (na primer goriščna razdalja objektivna, koordinate projekcijskega centra v slikovnem koordinatnem sistemu, distorzije) in vsaj približno lokacijo stojišča fotoaparata. Pri fotoaparatih brez stalne goriščne razdalje (spreminjajoči *zoom*) in posnetkih stranskega pogleda na objekt pa smo še bolj omejeni. Preostane nam le uporaba interaktivne metode orientacije posnetka na podlagi zelo gostega DMV-ja (Triglav Čekada s sodelavci 2010), uporabimo lahko digitalne modele reliefa (DMR) ali digitalne modele površin (DMP), ki poleg reliefa prikazujejo še vegetacijo in stavbe.

Za evidentiranje obsega poplav septembra 2010 je Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU 23. septembra 2010 ročno snemal obsega poplav iz helikopterja. Snemanje je potekalo z več fotoaparati, v prispevku pa je podrobneje obravnavan posnetek, opravljen z nemerskim fotoaparatom *Cannon*



MATIJA ZORN, 23. 9. 2010

Slika 1: Posnetek južnega dela Dobrepolja.



Slika 2: Poplavljena župnijska cerkev v Strugah ob poplavi 23. septembra 1933 (Kolbezen 1992, 216).

PowerShot SX10 IS. Posnet je bil obseg poplav na Ljubljanskem barju, Radenskem polju in Dobrepolju, pri čemer se moramo zavedati, da je bil prelet opravljen nekaj dni po najboljšežnejših padavinah in zato posnetki ne prikazujejo največjega obsega takratnih poplav.

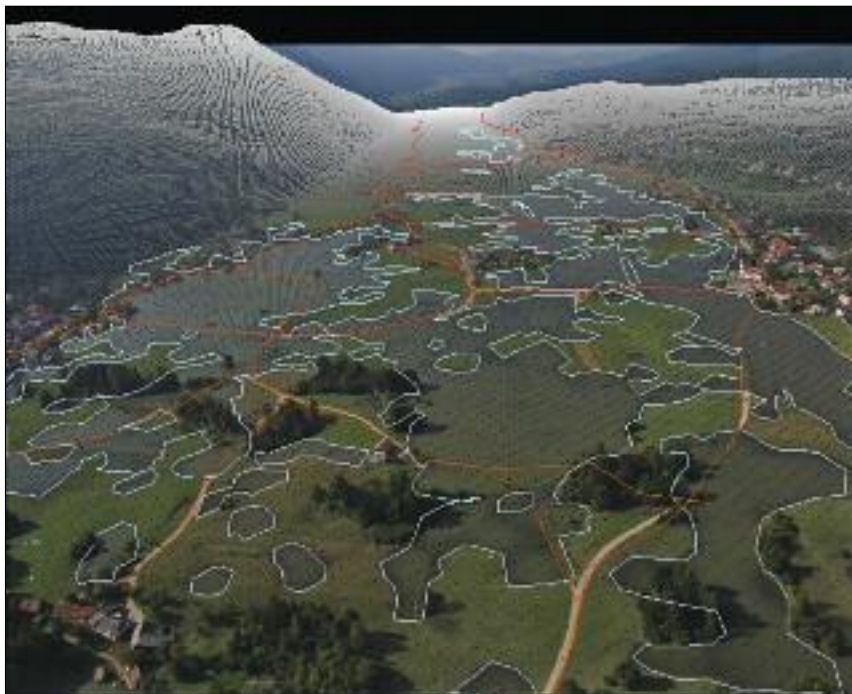
Poplave septembra 2010 so bile med obsežnejšimi naravnimi nesrečami v zadnjih desetletjih v Sloveniji. Bile so posledica obilnih padavin med 16. in 19. septembrom 2010 (Kobold 2011). Prizadetih je bilo kar 137 slovenskih občin, škoda pa je bila ocenjena na prek 240 milijonov evrov (Komac in Zorn 2011, 61). Poplave so povzročile veliko zanimanje tudi med strokovnjaki za daljinsko zaznavanje (Zorn 2011), saj so bile po poplavah za ugotavljanje njihove razsežnosti uporabljene različne metode, ki so temeljile na satelitskih (Oštir s sodelavci 2011; Veljanovski s sodelavci 2011), letalskih (Globevnik in Vidmar 2010, 26; medmrežje 1; Veljanovski in Kokalj 2012) ali helikopterskih posnetkih (v tem prispevku).

Za testiranje uporabnosti interaktivne metode orientacije posnetkov poplav septembra 2010 na podlagi DMR-ja smo se odločili za posnetek, ki prikazuje južni del Dobrepolja s krajem Pri cerkvi – Struge na desni strani posnetka (slika 1). Posnetek je bil izbran, ker prikazuje celoten južni del Dobrepolja z deli pobočij na robovih. Pobočja so pomagala pri kontroli pravilnosti interaktivne orientacije posnetka.

Izjemne poplave na Dobrepolju nastanejo zaradi visoke vode, ki priteka iz kraških jam (na primer Potiskavške jame, Kompoljske jame in Podpeške jame). Včasih se tem kraškim vodam pridruži še poplavna voda Rašice, kot se je zgodilo tokrat in leta 1933 (slika 2; Komac in Zorn 2011, 68). Leta 1933 naj bi bila gladina vode še za približno meter višja kot leta 2010 (Šiško Novak 2011, 75).

2 Interaktivna metoda orientacije posnetka na podlagi digitalnega modela višin

Fotoaparati smo kalibrirali s pomočjo kalibracijskega polja v programu *PhotoModeler* (medmrežje 2). Fotoaparati omogoča nastavitve različnih parametrov, tudi goriščne razdalje. Ker nastavitve teh parametrov med snemanjem poplav ne poznamo, teh podatkov nismo uporabili pri samem postopku.



Slika 3: Rezultat orientacije: projekcija DMR-ja na posnetek, projekcija cest na posnetek (rdeče) ter ugotovljene meje poplavnega območja s pomočjo točk DMR-ja.

Pri testu so nam služili bolj kot ocena, ali lahko pričakujemo velika odstopanja na robovih slik. Ocenjujemo, da večjih odstopanj zaradi distorzije na robovih slike ni pričakovati.

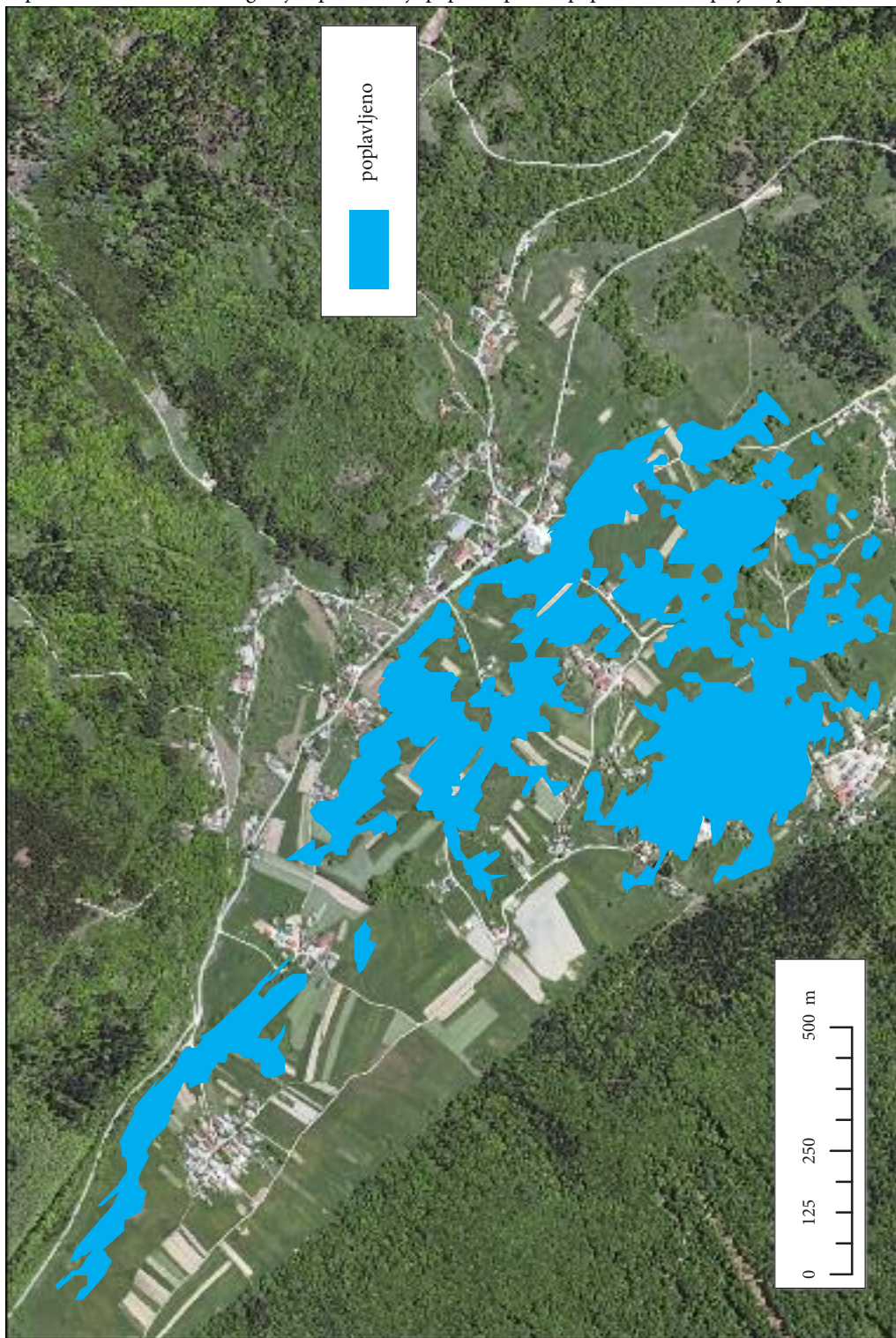
Ugotavljanje roba poplavljenega območja smo iz posnetkov izvedli s pomočjo interaktivne metode orientacije posnetka na podlagi DMV-ja (Rönnholm s sodelavci 2003; Triglav Čekada s sodelavci 2007). Metoda temelji na iskanju najbolj ujemajoče se projekcije DMV-ja na stanje na posnetku, pri čemer poiščemo orientacijske parametre posnetka (trije koti rotacij, tri koordinate projekcijskega centra v naravi, merilo). Metoda je interaktivna in temelji predvsem na operaterjevem dobrem poznavanju podrobnosti na posnetku ter kako naj bi se ti odražali na projekciji DMV-ja.

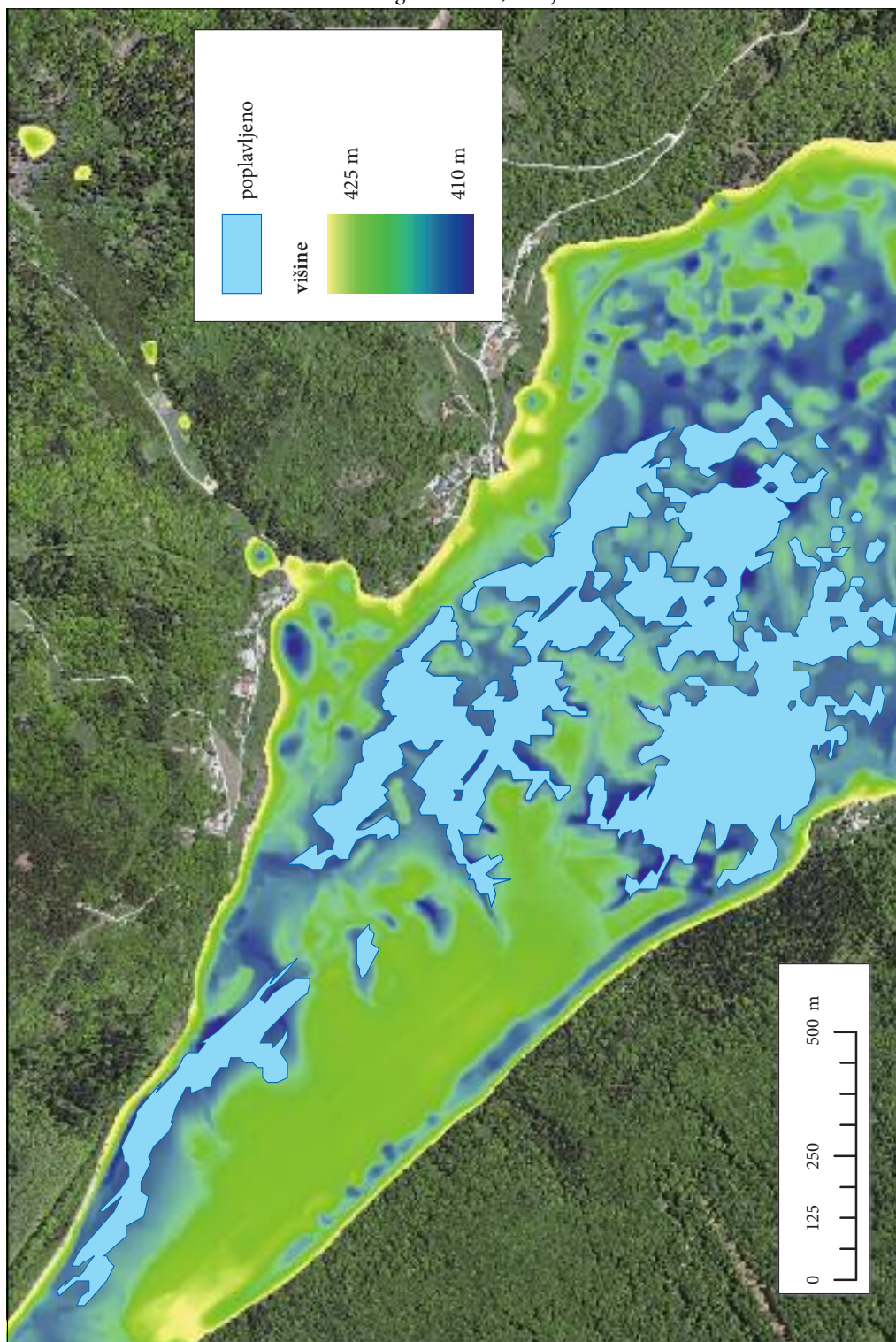
Stranski pogled na ravno dno Dobrepolja žal ne nudi nobenih opornih točk za ugotavljanje ujemanja projekcije z DMV-jem. Uporabljeni DMV podrobneje imenujemo DMR, ker prikazuje samo točke reliefa. Zato smo za test izbrali primer, kjer imamo na obeh straneh posnetka velik del vzpetega sveta, s pomočjo katerega smo lahko ocenili, kako pravilno smo uspeli projicirati DMR. Uporabili smo DMR Slovenije z velikostjo celice 5 krat 5 m, izdelan v okviru projekta CAS 2006 (medmrežje 3).

Interaktivno metodo orientacije smo začeli z določitvijo približnih parametrov stojišča posnetka, tako da smo z ortofotografije CAS 2006 odčitali približno lokacijo helikopterja v času snemanja. Ocena se je od končne vrednosti lokacije projekcijskega centra razlikovala po vsaki ravninski osi za približno 200 m. Približno višino helikopterja smo ocenili iz prikaza vzpetega sveta na obeh straneh posnetka na približno 800 m nadmorske višine, saj je samo dno južnega dela Dobrepolja že na višini 410 m. Ocena višine se je od končne vrednosti razlikovala za 130 m. Ker je samo dno polja bolj uravnano in brez opri-

Slika 4: Ugotovljen obseg poplav prikazan na ortofotografiji območja. ►

Slika 5: Ugotovljen obseg poplav ter DMR z višinami med 410m in 425m na ortofotografiji območja. ► (str. 60)





jemljivih reliefnih značilnosti v DMR-ju, smo si pri interaktivni metodi orientacije pomagali z vključitvijo lomnih linij znotraj DMR-ja. Lomne linije so bili vektorji cest na območju posnetka, ki smo jih vektorizirali iz ortofotografij CAS (stanje leta 2006). Kot vidimo iz slike 3, smo določili orientacijske parametre, ki se zelo dobro ujemajo z DMR-jem in lomnimi linijami na samem posnetku. Odstopanja v podrobnostih ter v neujemanju lomnih linij s stanjem na posnetku opazimo le na spodnjem robu slike, ki prikazuje območje najbližje fotoaparatu. Odstopanja lahko pripišemo neupoštevanju notranje orientacije posnetka v postopku. Ocenjena odstopanja so v velikostnem razredu nekaj metrov, vendar pod petimi metri, kolikor znaša stranica celice DMR-ja.

3 Obseg poplav na primeru Dobropolja

Obseg poplav v 3D je bil določen na podlagi izbire najbližjih točk projiciranega DMR-ja na posnetek. Točke smo izvozili iz programa za interaktivno metodo orientacije v GIS okolje in prikazali poligone zalite z vodo (slika 4).

Za lažje razumevanje, kateri deli Dobropolja so bili zaliti v poplavah septembra 2010, smo podložili pod poligone poplavljenih območij podroben DMR za ravninski del Dobropolja. Na sliki 5 je prikazan DMR z višinami med 410 m in 425 m. Vidimo, da so bile poplavljene vse depresijske reliefne oblike, kjer je bila nadmorska višina nižja od 418 m oziroma 417 m. Depresijske reliefne oblike v spodnjem desnem delu slike 5 na testnem posnetku niso bile vidne, zato njihovega oboda nismo iz vrednotili. Iz ostalih helikopterskih posnetkov tega območja je razvidno, da so bili tudi ti deli poplavljeni. Do odstopanj v višini roba poplave je prišlo deloma zaradi nenatančnosti določitve meje zalitega območja, saj smo mejo lahko postavili le na točke DMR-ja, in deloma zaradi nenatančnosti interaktivne metode orientacije, saj nismo upoštevali parametrov notranje orientacije.

Površina zalitega dela Dobropolja, vidnega na uporabljenem posnetku, je 47 ha. Večja sklenjena zalita območja obsegajo: 17 ha, 15 ha, 7 ha in 5 ha. Ugotavljali smo tudi manjša poplavljena območja, posamezne vrtače, ki merijo približno 0,5 ha. Na sliki 4 vidimo, da so bila zalita predvsem kmetijska zemljišča in da ponekod globina vode ni bila zelo velika, saj lahko v osrednjem delu slike opazimo podolgovate otoke, ki prikazujejo poljščine in segajo nad gladino (nepospravljena strnišča koruze).

4 Sklep

Na primeru obdelave ročnega posnetka narejenega iz helikopterja ob poplavah septembra 2010 nad Dobropoljem vidimo, da lahko tudi posamezne nemerske posnetke uporabimo v merske namene. S pomočjo interaktivne metode orientacije posnetka na podlagi DMR-ja 5 krat 5 m iz CAS 2006 smo izmerili obseg poplav vidnih na testnem posnetku. Ugotavljamo, da je bilo še nekaj dni po najboljšežnejših padavinah v južnem delu Dobropolja poplavljenih 47 ha zemljišč na nadmorskih višinah pod 418 m.

5 Viri in literatura

- Globovnik, L., Vidmar A. 2010: Poplave na Ljubljanskem barju v septembru 2010. Mišičev vodarski dan 2010. Maribor.
- Grussenmeyer, P., Yasmine, J. 2004: Photogrammetry for the preparation of archeological excavation. A 3D restitution according to modern and archive images of Beaufort castle landscape (Lebanon), ISPRS congress Istanbul. Istanbul.
- Kirk, R. L., Barrett, J. M., Soderblom, L. A. 2003: Photoclinometry made simple ...?, ISPRS WG IV/9: Extraterrestrial Mapping Workshop »Advances in Planetary Mapping 2003«. Houston.

- Kobold, M. 2011: Poplave med 17. in 21. septembrom 2010. Slovenski vodar 23–24. Ljubljana.
- Kolbezen, M. 1992: Velike poplave in povodnji na Slovenskem II. Ujma 6. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2011: Geografija poplav v Sloveniji septembra 2010. Neodgovorna odgovornost, Naravne nesreče 2. Ljubljana.
- Medmrežje 1: <http://poplave.geoin.si> (8. 3. 2012).
- Medmrežje 2: <http://www.photomodeler.com/products/photomodeler.htm> (3. 3. 2012).
- Medmrežje 3: http://prostor.gov.si/cepp/GURS_izpisiso.jsp?ID={BAD0313F-9671-4ACD-B5F8-641FC0BE68EA} (3. 3. 2012)
- Oštir, K., Kokalj, Ž., Veljanovski, T., Rakovec, J., Žagar, N. 2011: Uporaba satelitskega daljinskega zaznavanja za napovedovanje in opazovanje poplav. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2010: zbornik predavanj. Ljubljana.
- Rönnholm, P., Hyypä, H., Pöntinen, P., Haggrén, H. 2003: Interactive relative orientation between terrestrial images and airborne laser scanning data. ISPRS proceedings(WG III/3) »3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data«. Dresden.
- Šiško Novak, S. 2011: Poplave v Dobropoljski in Struški dolini. Slovenski vodar 23–24. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Radovan, D., Gabrovec, M., Kosmatin Fras, M. 2010: Preučevanje Triglavskega ledenika s pomočjo arhivskih Horizontovih fotografij. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M., Štrumbelj, E., Jakovac, A. 2007: Test uporabnosti interaktivne metode orientacije na primeru posnetkov Triglavskega ledenika. Geodetski vestnik 51-1. Ljubljana.
- Veljanovski, T., Kokalj, Ž. 2012: Objektno usmerjeno kartiranje poplav in njihova vloga v poselitvi osrednjega dela Ljubljanskega barja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012. Ljubljana.
- Veljanovski, T., Pehani, P., Kokalj, Ž., Oštir, K. 2011: Zaznavanje poplav s časovno vrsto radarskih satelitskih posnetkov ENVISAT in RADARSAT-2. Neodgovorna odgovornost, Naravne nesreče 2. Ljubljana.
- Willneff, J., Poon, J., Fraser, C. 2005. Monoplotting applied to high-Resolution Satellite Imagery. Journal of Spatial Science 50-2. East Perth.
- Zorn, M. 2011: Daljinsko zaznavanje poplavnih območij: posvet. Geografski vestnik 83-1. Ljubljana.

OBJEKTNO USMERJENO KARTIRANJE POPLAV IN NJIHOVA VLOGA V POSELITVI OSREDNJEGA DELA LJUBLJANSKEGA BARJA

dr. Tatjana Veljanovski, dr. Žiga Kokalj

Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti in

Center odličnosti Vesolje-SI

tatjanav@zrc-sazu.si, ziga.kokalj@zrc-sazu.si

UDK: 528.9:556.166(497.451)

911.372.2(497.451)

IZVLEČEK

Objektno usmerjeno kartiranje poplav in njihova vloga v poselitvi osrednjega dela Ljubljanskega barja
Prispevek se ukvarja s prepoznavanjem zmožnosti samodejne objektno klasifikacije visokoločljivih podatkov za kartiranje poplav ter z značilnostmi poselitve osrednjega dela Ljubljanskega barja z vidika poplavne ogroženosti. Za kartiranje poplav smo uporabili podatke letalskega snemanja. Poselitvena vzorca iz dveh obdobji sta predstavljena s tlorisi stavb, razvidnih iz kart Franciscejsko-jožefinskega katastra za Kranjsko in sedanjega Katastra stavb. Rezultate objektno klasifikacije vrednotimo z vidika uspešnosti zaznave poplavljenih območij v izrazito ravninskem, a z vidika rabe tal heterogeno strukturiranem okolju. Orišemo tudi proces poseljevanja v osrednjem delu Ljubljanskega barja ter prikažemo, na katerih zemljiščih je poselitev zelo verjetno kontinuirana oziroma odnos umeščanja novejših hiš do starejših.

KLJUČNE BESEDE

kartiranje poplav, objektna klasifikacija, Ljubljansko barje, Franciscejski kataster, poselitveni vzorec, bližnji infrardeči DOF

ABSTRACT

Object-oriented mapping of floods and their role in the settlement in the central part of Ljubljana moor
This paper focuses on automatic object classification capabilities of very high resolution remote sensing data for the mapping of floods. Further it focuses on the settlement characteristics of the central part of the Ljubljana moor in terms of flood risk. Mapping the state of floods we used data from aerial flight recordings (NIR orthophotos). Settlement patterns in the two periods are presented with the centroids of buildings apparent in the Franciscan-Josephinian cadastre maps of Carniola (1867–1882) and national registry of buildings (GURS 2011). Results of object-based classification are evaluated in terms of performance of flooded areas detection in a very flat, but heterogeneously structured environment. We also outline the process of settling and indicate areas in which the settlement is continuous and attitude of placing newer houses to the elderly, respectively.

KEY WORDS

flood mapping, object-based classification, Ljubljana moor, Franciscan cadastre, settlement pattern, NIR orthophoto

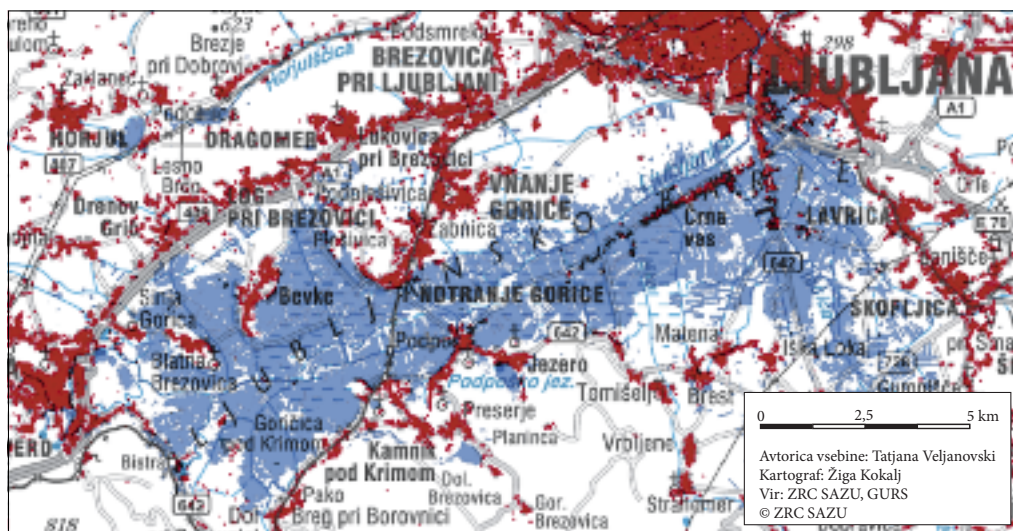
1 Uvod

Ljubljansko barje obsega južni del Ljubljanske kotline (slika 1). Njegova glavna značilnost so redne poplave, ki so nekdanj oblikovale mokrotne lastnosti naravnega okolja in določale (omejevale) rabo zemljišč. O tem pričajo številna imena (v pisnih virih Ljubljansko močvirje, Močvir, Morost, Marost, domačinska oznaka Mah). V zadnjih 250 letih je človek to nekdanj močvirno in odljudno pokrajino močno preoblikoval (z obsežnimi hidrotehničnimi deli osušil) ter jo postopoma tudi naselil. Kljub temu je ob izjemnih poplavah pod vodo še vedno dobra polovica Barja (Orožen Adamič 1998, 380–383). Vzroki, ki jih navaja že Melik (1927, 5), so po domala stoletju še vedno nespremenjeni: obilica vode, ki se ob vsakem večjem deževju zlije iz močnih kraških izvirov na južnem robu ter z obrobnege ozemlja v osrednjo uravnavno, premajhen strmec rek in ravnine ter premajhna, preplitva, z mnogimi jezovi in drugimi objekti zožena struga Ljubljani v Ljubljani. Zadnje večje poplave, pri katerih se je voda na območju zadrževala več kot štirinajst dni, so bile septembra 2010. Ob najvišjem vodostaju (20. septembra) je bilo opravljeno letalsko snemanje poplavljenega območja.

Uporaba visokoločljivih posnetkov (z ločljivostjo boljšo od 1 m) omogoča hitre in podrobne odgovore za odzivanje ob naravnih in večjih industrijskih nesrečah (velike nesreče). Poleg nemudoma razpoložljivega vpogleda v stanje prizadetosti območja, tovrstni podatki omogočajo tudi naprednejše analize in interpretacije: kartiranje obsega nesreče (na primer poplav), analizo značilnosti prizadetega območja, analizo vzrokov za nastanek in načrtovanje preventivnih ukrepov.

Vendar je obdelava tovrstnih podatkov za velike nesreče, ko podatke rabimo hitro, izpeljane informacije pa morajo biti čim bolj točne in razumljive, vse prej kot lahka naloga. Zato stremimo k čim bolj samodejnim postopkom obdelave, ki jim skušamo zagotoviti tudi ustrezno zanesljivost. Izdelava karte pokrovnosti oziroma samodejno ugotavljanje poplavnih območij z visokoločljivih posnetkov narekuje uporabo objektno usmerjenega pristopa.

V prispevku se zato osredotočamo na vrednotenje zmožnosti objektno usmerjenega kartiranja visoko ločljivih posnetkov v samodejnem načinu. Prepoznavamo tako prednosti kot omejitve, ki so posledica značilnosti obravnavanega območja, lastnosti podatkov in načina obdelave podatkov. Nadalje se ukvarjamo s pomenom pridobljene karte poplav z vidika lastnosti poselitve na osrednjem delu Ljubljanskega barja.



Slika 1: Poplave na Ljubljanskem barju 20. septembra 2010. Modra so poplavljenega območja, ki so bila pridobljena z objektno usmerjeno klasifikacijo letalskih posnetkov, rdeče pa so stavbe.

2 Objektno usmerjena analiza visokoločljivih podatkov

S povečevanjem prostorske ločljivosti detektorjev na satelitih in letalih se spreminja razmerje med velikostjo piksla na eni ter razsežnostjo in podrobnostjo opazovanih objektov geografske stvarnosti na drugi strani, zato pikselska klasifikacija ni več učinkovita in je treba uporabiti nove metode, ki so prilagojene lastnostim podob visoke ločljivosti (Blaschke 2010). V zadnjem desetletju se je uveljavil objektno usmerjen pristop (Veljanovski s sodelavci 2011). Ta združuje segmentacijo, ki je temeljna faza za razmejevanje elementov geografskih objektov, in klasifikacijo, ki je semantično (kontekstualno) podprta. Segmentacija razdeli podobo na homogene skupine pikslov (segmente), semantična klasifikacija pa jih nato razvršča v razrede na podlagi njihovih spektralnih, geometričnih, teksturnih in drugih lastnosti (Navulur 2007).

Objektno usmerjene tehnike se med seboj lahko razlikujejo tako v načinu segmentacije (na primer večnivojska, enonivojska, glede na kriterije za homogenost, glede na izbrane kazalnike) kot v metodi klasifikacije (na primer ob pomoči učnih vzorcev, z uporabo niza pravil) in izbiri klasifikatorja (na primer z metodo podpornih vektorjev – SVM, K-najbližjih sosedov).

Pri obdelavi podatkov prostorske ločljivosti pod 1 m ali 0,5 m smo se srečali z več problemi:

- Večja ločljivost odstira bistveno več podrobnosti o površju in objektih, kar mora metodologija objektno obdelave znati prepoznati, ovrednotiti ter ustrezno uporabiti. Ugotoviti, ali gre pri tem za bistven podatek o danem objektu ali ne, je za računalniški algoritem izjemno zahtevna naloga, ki je obstoječe metode še ne rešujejo zadovoljivo, zato je postopke razpoznavne in klasifikacije objektov treba prilagoditi namenu kartiranja.
- Za samo klasifikacijo je težava zastopanost ciljnih objektnih razredov (na primer zgradba) z velikim številom različnih reprezentacij, ki imajo lahko povsem različne spektralne, teksturne, geometrične in druge lastnosti (na primer zgradba na novo krita s korci, valovtkami, vlaknocementom, lesenimi škodlami).
- Nadaljnja težava je prisotnost in številčnost senc. Sence puščajo skoraj vsi objekti, njihova lega in dolžina pa je odvisna od višine objekta in razmer, v katerih se izvaja snemanje (lega Sonca). Glede na to, da smo pri enkratnem zračnem snemanju omejeni s pogledom od zgoraj, moramo vse nevšečnosti razumeti v tem kontekstu.



Slika 2: Del Črne vasi v času poplav 20. 9. 2011. Letalski posnetek je v lažnih barvah (bližnji infrardeči, rdeči in zeleni kanal).

- Večja ločljivost pri zajemanju podatkov pomeni tudi večjo količino podatkov za obdelavo in shranjevanje. Praviloma obdelava podatkov iz visoko ločljivih zajemov zahteva izjemno zmogljivo strojno opremo ter več časa obdelave, zlasti, kadar je območje opazovanja veliko.

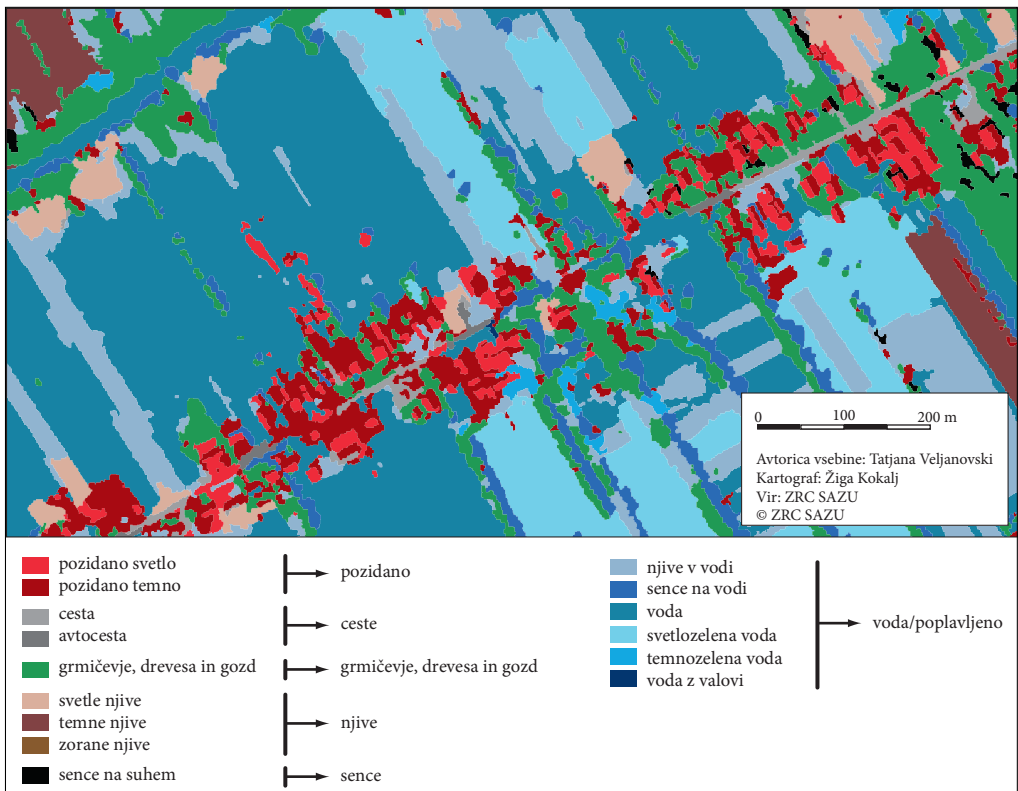
Zaradi v uvodu opisanih lastnosti območja, lastnosti razpoložljivih podatkov zračnega snemanja in stanja obstoječih metodologij obdelave podatkov smo za kartiranje podrobne prostorske razporeditve poplav izbrali metodo objektne klasifikacije na podlagi učnih vzorcev.

V študiji smo uporabili podatke, ki so nastali ob snemanju poplav septembra 2010 iz letala. Snemanje je izvajalo podjetje Geoin d. o. o. Posnetki Barja so bili zajeti 20. septembra ob najvišjem vodostaju in dan po najobilnejših padavinah, v ločljivosti 20 cm, v treh spektralnih pasovih: v zelenem, rdečem in bližnjem infrardečem (BIR) spektru (slika 2). Posnetki so ortorektificirani (BIR DOF) in v koordinatnem sistemu D48.

3 Rezultati samodejne objektne klasifikacije in razprava

Zmožnosti objektne klasifikacije visoko ločljivih podatkov za večja območja vrednotimo v luči kakovosti rezultatov kartiranja (točnost prepoznavne in določitve geografskih objektov) ter zmožnosti hitre in računsko čim bolj avtonomne obdelave.

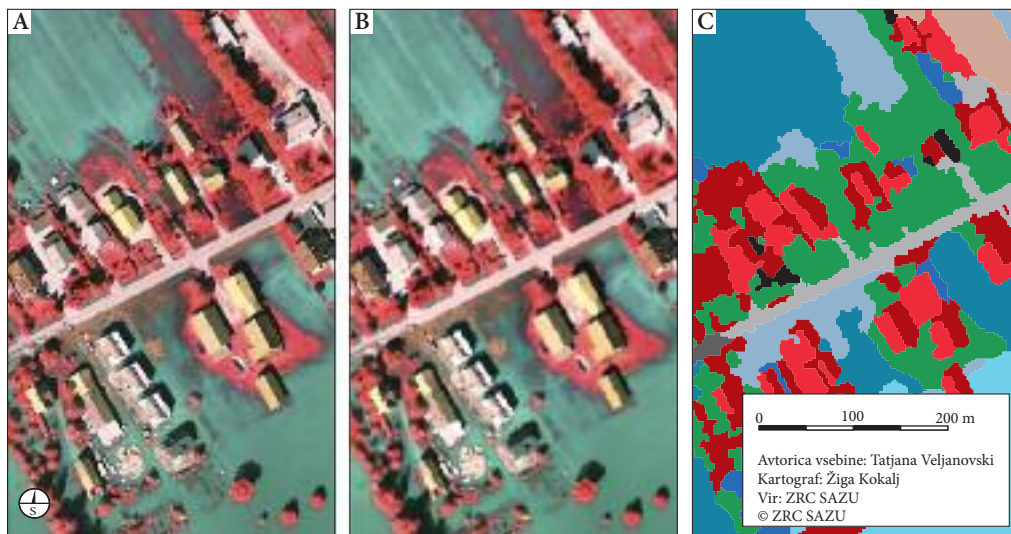
Objektna klasifikacija je v raznolikih in kompleksnih okoljih sicer uspešna, a zahteva razmeroma velik obseg dela v fazi poklasifikacije (popravljanje napačnih razvrstitev je praviloma ročno na podlagi



Slika 3: Kategorije učnih vzorcev in klasificiran letalski posnetek dela Črne vasi.

Preglednica 1: Pregled ugotovljenih pomanjkljivosti uporabe objektne klasifikacije v samodejnem načinu kartiranja iz visokoločljivih posnetkov ter možne rešitve.

problem	primer	predlagane rešitve
Velikost območja obdelave in zelo visoka prostorska ločljivost podatkov sta lahko računsko prezahtevni.	Območje obdelave v 20 cm ločljivosti pomeni hkratno obdelavo 30 GB podatkov, v ločljivosti 1 m pa 1 GB podatkov.	Prezorcenje na manjšo, a še primerno ločljivost. Razrez območja in obdelava po delih.
Kakovost podatkov snemanja: radiometrična nekonsistentnost.	Območja so posneta v različni intenziteti, kontrasti med posnetki so neuskklajeni. Identične skupine objektov (na primer gozdi) imajo po območju zelo različne spektralne lastnosti.	Strožje zahteve in ukrepi med snemanjem.
Raznoliko in kompleksno okolje: raznolike reprezentacije geografskih objektov znotraj posamezne kartirane kategorije rabe tal.	Vrste strešnih kritin in njihove reprezentacije v analizi spektralnega prostora (sliki 2 in 4).	Večja spektralna ločljivost (več kanalov, obvezno tudi v BIR spektru). Razširitev seznama kategorij za učne vzorce, kasnejše združevanje v objektne razrede oziroma ciljne razrede rabe tal.
Raznoliko in kompleksno okolje: navidezna spektralna »sorodnost« med različnimi objekti in njihovo napačno razvrščanje v fazi klasifikacije.	Posamezni elementi iz kategorije objektov »temne strehe« se napačno razvrščajo tudi med sence na vodi, podobno se lahko mokra (poplavljena) cesta uvrsti v kategorijo avtoceste (slika 3).	Popravki v poklasifikaciji: ročno (zelo dolgotrajno) ali z uporabo konceptualnih prostorskih analiz, na primer z analizo okolice.
Raznoliko in kompleksno okolje: razpoznavanje in zanemarjanje mikrostruktur na objektih, ki so za kartiranje nepomembne podrobnosti.	Razgibane strehe, z dimniki, sencami in podobno (sliki 3 in 4).	Predobdelava podatkov (npr. glajenje z nizkoprepustnimi filtri). Uporaba večniivojske segmentacije (deluje v več merilih/ravnih vhodnih podatkov).
Interpretacija vsebine podobe: objekti, ki so poplavljeni, a se klasificirajo kot nepoplavljeni.	Hiše v poplavljeni ravnici, njive koruze v poplavljeni ravnici (slika 3).	Konceptualne prostorske analize v fazi poklasifikacije in uporaba lidarskih podatkov: npr. analiza okolice na podlagi terena. Če je zemljišče dvignjeno, hiša zelo verjetno ni poplavljena in obratno. Glede na podatke lidarskega DMR-ja in DMP-ja lahko določamo, kateri objekti so dejansko poplavljeni, čeprav so višji od vodne gladine.
Interpretacija vsebine podobe: rezultat objektne klasifikacije praviloma vsebuje precej napačno klasificiranih objektov, ki jih pogosto ni mogoče razložiti s podobnimi lastnostmi atributov (na primer povsem različne teksturne lastnosti).	Fotosintetično aktivno stanje polja koruze in manjša skupina dreves.	Uporaba informacij pod objektne analize segmentov v klasifikaciji. Pri čemer je smiselno preverjati vsaj dve lastnosti posameznega segmenta (analiza porazdelitvene funkcije vrednosti po posameznih spektralnih kanalih, stopnja geometrične deljivosti na manjše dele).



Slika 4: Iskanje kompromisov v postopku kartiranja pri upravljanju z velikimi nesrečami. Prilagoditev podatkov (prostorske ločljivosti) za obdelavo večjih območij. Originalni trikanalni letalski posnetek (BIR, R, Z) v ločljivosti 0,2 m (A), posnetek, prevzorečen na ločljivost 1 m (B) in iz njega izračunan zemljevid pokrovnosti (C). Legendo kategorij prikazuje slika 3. Na mestu, kjer je nepoplavljena skupina stavb (desni srednji del slike), so bile stavbe postavljene že ob prvi kolonizaciji Barja. Odnos tedanjih z novejšimi je treba še preveriti v naravi. Pričakovati je, da je bil teren nasut.

vizualne kontrole). V primeru interpretacije podatkov pri upravljanju z nesrečami časa za obsežno poklasifikacijo nimamo, zato v študiji samodejnost postopka razumemo kot zadnji korak obdelave, ki je računsko še avtonomen (brez večjega posredovanja operaterja). V študiji smo tudi privzeli, da so učni vzorci lahko predizbrani, torej pripravljene vnaprej. Glede na naravo nesreče (poplava, požar) mora operater dodati le učne vzorce prizadetih površin in prerazporediti morebitne napačne predizbrane. Popolnoma samodejnega postopka (brez kakršnegakoli posredovanja operaterja) se v bližnji prihodnosti ne gre nadejati. Algoritmni obdelave še nekaj časa ne bodo kos prepoznavanju zapletenih razmerij v naravnem okolju, torej interpretaciji, ki so ji človeški možgani zlahka kos. Napredek vidimo prej v izboljšanju samodejnosti postopkov poklasifikacije. Tu bi vizualno interpretacijo lahko nadomestili z izbranimi postopki analize okolice, ki bi potekali v samodejnem načinu.

Proces segmentacije in klasifikacije smo izvedli za širše območje osrednjega dela Barja (slika 1). Želena hitrost obdelave je določala prilagoditev podatkov. Izvorna prostorska ločljivost (slika 2) je bila namreč računsko prezahtevna in časovno zelo potratna, zato smo upoštevali velikost opazovanega območja podatke prevzročili na ločljivost 1 m (slika 4). Postopek segmentacije smo prek segmentacijskih parametrov nastavili tako, da je bilo mogoče razpoznavati tudi manjše vodne strukture, na primer vidne vodne jarke med koruznimi polji. Dobljeni segmenti so bili nato nadzorovano razvrščeni v pripadajoče razrede s pomočjo niza učnih vzorcev in algoritma SVM. Določali smo 15 razredov pokrovnosti (slika 3), od katerih jih šest ponazarja poplavljen površine oziroma vodo. Na ta način smo dobili boljši rezultat, kot v primeru določanja samo po enega razreda za vodo, stavbe ali njive.

Podrobno kartiranje poplavljenega območja v samodejnem načinu (brez poklasifikacije) se je izkazalo za zahtevno. Zaradi zapletene agrarne strukture, različne višine vode in dejstva, da so na zemljiščih lahko prisotni pridelki različnih višin (na primer koruza, zelje, visoka ali pokošena trava), ni bilo mogoče določiti zvezne površine poplavljenega površja (slika 3), ampak se je le-ta pogosto prekinjala in uvrščala

v druge rabe tal (na primer njive). Ob pregledu rezultatov smo ugotovili nekatere značilne napake klasifikacije. Vzroke zanje smo podrobno preučili, preučili pa smo tudi možne rešitve za odpravljanje pomanjkljivosti. Ugotovitve podaja preglednica 1.

4 Novejša poselitev osrednjega dela Ljubljanskega barja in poplavna ogroženost

Po obdobju mostiščarjev (od okoli 2300 do 1700 pr. n. št.) in pred osuševalnimi deli je bilo Ljubljansko barje razen na osamljenih gričih zaradi rednih poplav in zamočvirjenosti precej neprivlačno in popolnoma neposeljeno (Melik 1927). V gospodarskem pogledu je bilo to ozemlje majhne vrednosti. V drugi polovici 18. stoletja so se začela prizadevanja za njegovo osušitev in s tem resnejši posegi v ta prostor. Začetki segajo v leta 1762–1769 (na primer Zornov projekt, Melik 1927, 6) in so obsegali izkopavanje novih kanalov in prepredanje območja z jarki za odvajanje vode v glavne kanale, reke in potoke. Stalna poselitev osrednjega dela Barja je torej veliko mlajša, stara naj bi bila le dobrih 250 let. Med leti 1772 in 1780 je bil izkopan Gruberjev prekop, ki je veliko prispeval k večjemu odtoku vode in s tem zmanjšanju možnosti poplav, vendar pričakovani učinek na stopnjo osušitve in posledično kulture celotnega Barja ni bil dosežen (Melik 1927). Dunajska vlada cesarja Franca je pripravila načrt popolne osušitve Barja in leta 1825 so se začela dela reguliranja in poglobljevanja struge Ljubljanice in Gruberjevega kanala ter izkopavanja številnih večjih kanalov in manjših jarkov na samem Barju. Dela so trajala štiri leta in so doprinesla nova osušena območja, primerna za pašnike, travnike in poljedelstvo, pa tudi poselitev. Vendar slaba skrb za kanale območju kmalu ni več prizanašala s poplavami. Posamična popravljiva hidrotehnična dela so se v večjih in manjših časovnih razmikih vršila vse do 1. svetovne vojne in naprej. Razmere pred večjimi priselitvami nazorno prikazuje več starejših zemljevidov, na primer Franciscejski kataster iz 20-ih let 19. stoletja (slika 5A).

Od tolikanj pričakovane poselitve Barja ob njegovi izsušitvi se vidnejša poselitev ni zgodila vse do 30-ih let 19. stoletja. Dotlej so se pojavljala manjša naselja (posamezne hiše) predvsem ob robovih Barja in vzdolž rek. Deloma je tak poselitveni vzorec posledica primernosti naravnih okoliščin za bivanje, deloma pa administrativne razdelitve ozemlja med številne občine, ki mejijo na Barje. Leta 1829 je gubernij mesta Ljubljane pod županstvom Hradetskega izdal dovoljenje za prvo razprodajo zemljišč na Volarju (kasneje Karolinska zemlja – med Ižansko cesto in Črno vasjo) za poselitev in kultivacijo pod določenimi pogoji in odziv za nakup je bil dober (slika 5B). Leta 1840 je na razdeljenih parcelah stalo 25 hiš, leta 1860 je število kmetij naraslo na 39, v njih pa so prebivali revnejši ljudje. Že v tem obdobju se je pokazalo, da je načrtno in namensko poseljevanje Barja, oziroma kot so jo tedaj imenovali, kolonizacija za Kmetijske družbe, večji del slabo premišljen proces. Razpoložljive parcele so le za silo izpolnjevale merila za zdravo bivanje, predvsem pa je bila njihova lega na območju odvisna od lastninskih razmerij in pravic tedanje mestne oblasti. Zato je kolonizacija Barja razmeroma slabo napredovala. Šele v času t. i. šotne industrije, ko je pridobivanje šote nudilo dobro eksistenco na Barju in je potisnilo poljedelstvo v ozadje, to je v 60-ih, 70-ih in 80-ih letih 19. stoletja je kolonizacija dosegla nov višek. Način naselitve je bil predvsem gostitev obstoječih kolonialnih naselij (na primer Črna vas, Lipe). Kolonija na Volarju je tako leta 1876 štela že 97 hiš, leta 1880 pa kar 109 hiš (Melik 1927).

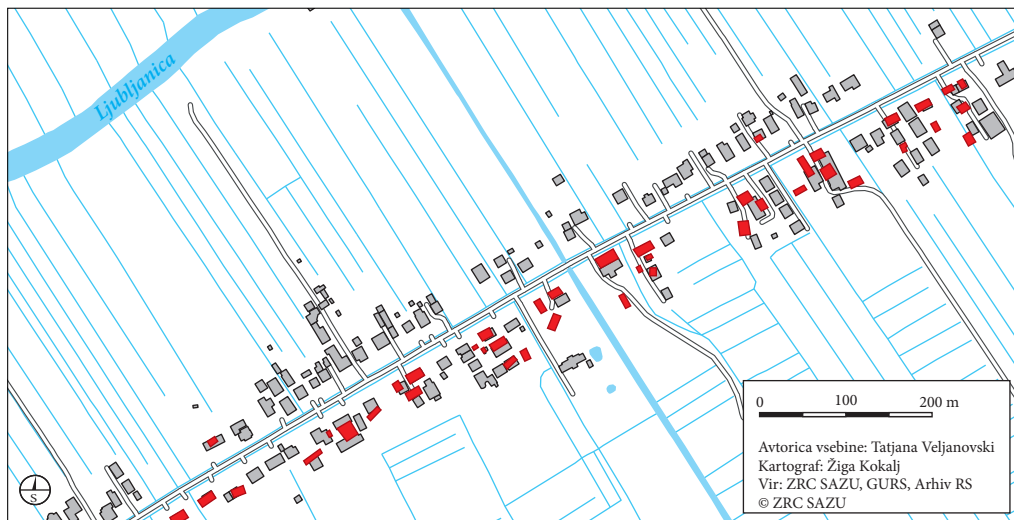
Preglednica 2: Število prebivalcev po letih za naselji Črna vas in Lipe (Vir: Popisi prebivalstva, razen za leto 2008, ki prikazuje stanje glede na Centralni register prebivalstva).

	1869	1900	1931	1961	1971	1981	1991	2002	2008
Lipe	42	68	54	49	33	50	48	50	71
Črna vas	205	270	329	363	315	348	419	594	725



Slika 5: Na franciscejskem katastru izdelanem med letoma 1823 in 1826 je videti, da je bilo območje sedanje Črne vasi še popolnoma neposeljeno. Vse območje današnjega naselja južno od ceste obsega ena parcela (parcela številka 1689, velika 278 ha) (A). Prenovljeni (reambulirani; franciscejsko-jožefinski) kataster iz let 1867–1882 prikazuje, da se je kolonizacija že razmahnila. Omenjena velika parcela je bila razparcelirana na več kot 200 manjših in razdeljena priseljencem (B). Vsak kolonizator je prejel kopijo listine z vrisanim tlorisom dodeljene parcele. Na kopiji so bile navedene tudi vse obveznosti kmeta-kolonista in njegovih naslednikov (Korošec 1978, 171).

Poselitev osrednjega dela Barja je v največji urbanizaciji Ljubljanskega barja med letoma 1960 in 1990, ki je šla predvsem na račun širjenja Ljubljane in Vrhnike, stagnirala. Vasi v osrednjem delu so prvič po zlatih časih šotne industrije koncem 19. stoletja nov poselitveni razcvet doživele šele v zadnjih dveh desetletjih. Razvoj števila prebivalcev v vaseh Lipe in Črna vas v zadnjih 150 letih prikazuje



Slika 6: Slika prikazuje cestno omrežje, osuševalne kanale in stavbe (sivo) v delu Črne vasi. Z rdečo so prikazane stavbe, ki so vrisane v reambuliranem katastru (1867–1882).

preglednica 2. V procesih intenzivnejše urbanizacije osrednjega dela Barja se je prvotni poselitveni vzorec vse bolj širil tudi na zemljišča, ki z vidika splošne poplavne ogroženosti niso bila primerna (slika 6). Na splošno je za urbanizacijo osrednjega dela Barja značilno, da nikoli ni bila prav pozorno in dolgoročno načrtovana (Melik 1927). Stara in uveljavljena protipoplavna napotila glede gradnje na območju Barja so torej vse manj upoštevana, kar je bilo več kot očitno tudi ob zadnjih poplavah (slike 4A, 5 in 6).

5 Sklep

Z letalskimi posnetki oziroma podatki zelo visoke ločljivosti (pod 0,5 m) lahko v skoraj realnem času dobimo izjemen vpogled v stanje naravnega ali urbanega okolja. Takšni podatki so še posebej pomembni ob naravnih in večjih industrijskih nesrečah. Objektno usmerjene analize visokoločljivih podatkov omogočajo pridobivanje raznolikih informacij, ugotavljamo pa, da vsebine posnetkov ne moremo dovolj zanesljivo interpretirati v popolnoma samodejnem načinu. V prihodnosti bo treba več pozornosti usmeriti v integracijo različnih virov podatkov, predvsem lidarskih podatkov, ter jih smiselno vključiti v obdelavo visokoločljivih posnetkov. Glede na prepoznane pomanjkljivosti objektivne klasifikacije v tej študiji so izboljšave najbolj nujne in obetavne v fazi poklasifikacije (odpravljanje napak), in sicer v smeri prostorskih analiz okolice objektov. Konceptualno usmerjena analiza okolice bi povečala obseg samodejnosti kartiranja v primerih hitrega kartiranja nesreč, neslutene možnosti pa se odstrajajo tudi za raziskave odnosov med naravnim okoljem in poselitvenimi vzgibi.

6 Viri in literatura

Blaschke, T. 2010: Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65.

Korošec, B. 1978: Naš prostor v času in projekciji. Ljubljana.

Melik, A. 1927: Kolonizacija Ljubljanskega barja. Doktorska disertacija. Ljubljana.

- Navulur, K. 2007: Multi-Spectral Image Analysis Using the Object Oriented Paradigm. Boca Raton.
- Orožen Adamič, M. 1998: Ljubljansko barje. Slovenija – pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Veljanovski, T., Kanjir, U., Oštir, K. 2011: Objektno usmerjena analiza podatkov daljinskega zaznavanja. Geodetski vestnik 55-4. Ljubljana.

RAZVOJ SISTEMA ZA SPREMLJANJE SUŠ: OD STATIČNIH DO PORAZDELJENIH SPLETNIH ZEMLJEVIDOV

dr. Andrej Ceglar, Barbara Medved - Cvikl, dr. Lučka Kajfež - Bogataj

Center za agrometeorologijo, Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
andrej.ceglar@bf.uni-lj.si, barbara.medved-cvikl@bf.uni-lj.si, lucka.kajfez-bogataj@bf.uni-lj.si

Luka Honzak

BO-MO d. o. o., luka@bo-mo.si

dr. Milan Kobal

Oddelek za gozdno ekologijo, Gozdarski Inštitut Slovenije
milan.kobal@gozdis.si

dr. Klemen Eler

Katedra za aplikativno botaniko, ekologijo in fiziologijo rastlin, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
klemen.eler@bf.uni-lj.si

UDK: 551.577.38:528.9

91:659.2:004

IZVLEČEK

Razvoj sistema za spremljanje suš: od statičnih do porazdeljenih spletnih zemljevidov

Razvoj informacijske tehnologije močno vpliva na načine analize in predstavitve prostorskih podatkov. Uporaba OpenGIS orodij odpira nove možnosti za razvoj medopravilnih GIS sistemov na področju stalnega spremljanja stanja v okolju, kjer napredek spletnega kartiranja vpliva na učinkovitost rabe podatkovnih baz, kvaliteto sistema, storitev in informacij ter omogoča boljše razumevanje kompleksnosti prostorskih pojavov. V prispevku je predstavljen razvoj medopravilnega sistema za stalno spremljanje suš v Centru za upravljanje s sušo v Jugovzhodni Evropi (DMCSEE), ki je integriran tudi v Evropski sušni portal (EDO) ter Globalni sistem za spremljanje Zemeljskega površja GEOSS.

KLJUČNE BESEDE

suša, GIS, medopravilnost, spletni kartografski servis, DMCSEE, EDO

ABSTRACT

The development of drought monitoring system: from static to distributed web maps

Development of information technology significantly affects the methods of analysis and presentation of spatial data. The use of OpenGIS specification offers new opportunities for the development of interoperable GIS systems in the field of continuous monitoring of environment. Progress of online mapping affects the efficiency of the use of databases, quality of systems, services and information. It promotes better understanding of the complexity of the occurrence of different spatial phenomena. In this study, recent developments of interoperable drought monitoring system in Drought Management Centre for South-Eastern Europe (DMCSEE), which is integrated in the European Drought Observatory (EDO) and the Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), are presented.

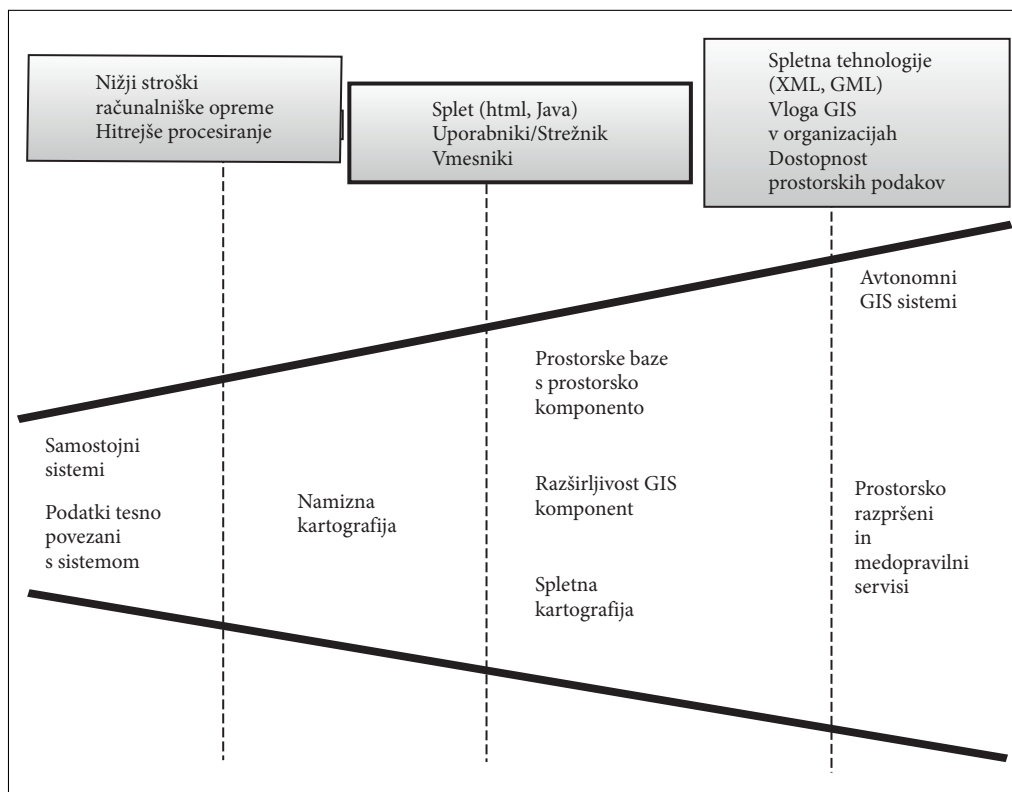
KEY WORDS:

drought, GIS, interoperability, OpenGIS Web Services, DMCSEE, EDO

1 Uvod

V zadnjih desetletjih smo priča razvoju geografskih informacijskih sistemov od tradicionalnih namiznih GIS-ov, tesno povezanih s prostorskimi podatkovnimi bazami, do med seboj povezanih medoprebrilnih, geografsko razpršenih spletnih orodij za prostorske podatke (slika 1). Ta razvoj je tesno povezan z napredkom strojne opreme, splošnim napredkom spletnih orodij, procesom standardizacije OGC-ja (*open GIS consortium*) in vedno večjim povpraševanjem uporabnikov po prostorskih podatkih na spletu. Pomembno vlogo ima boljša dostopnost do prostorskih podatkov ter možnost za razpršeno obdelavo le-teh, kakor tudi nenehne zahteve po njihovi ponovni uporabi (Alameh 2001).

Razvoj spletne kartografije odpira nove možnosti tako za uporabnike podatkov (izboljšava procesov uporabe) kot proizvajalce podatkov (spletne kartiranje). V prispevku so predstavljeni razvoj spletne kartografije ter nove možnosti za uporabnike na primeru Centra za upravljanje s sušo v Jugovzhodni Evropi DMCSEE (*Drought Management Centre for South-Eastern Europe*). Eden od namenov sušnega centra je vzpostavitev sistema za spremljanje suše v Jugovzhodni Evropi s postopki izdelave ter prikazovanja zemljevidov sušnosti. V prispevku smo se osredotočili na predstavitev nadgradnje sistema za spremljanje suše, temelječega na statičnih spletnih zemljevidih, v sistem dinamično porazdeljenih spletnih zemljevidov, kjer so podatki porazdeljeni po različnih spletnih mestih, dostop do teh pa se opravi preko formalnih protokolov OGC-ja. Omenjeni prehod iz statičnih na dinamične karte je zelo tesno povezan z razvojem GIS orodij. Uporabljena metodologija omogoča tudi povezovanje tehnično zelo različnih razvojnih stopenj GIS sistemov v enotno infrastrukturo na različnih prostorskih ravneh.



Slika 1: Razvoj geografskih informacijskih sistemov.

2 Spletno kartiranje

Spletno kartiranje temelji na uporabi spletnih orodij OGC-ja, ki opredeljujejo standardne vmesnike, protokole in poenoten način kodiranja prostorskih podatkov za uporabo na medmrežju ter zlasti na spletu. Ti standardi so namenjeni podpori za izmenjavo prostorskih podatkov, aplikacij in navodil po omrežju v dejanskem času (Šumrada 2005). V postopku prehoda iz statičnih v porazdeljene spletne karte v okviru DMCSEE infrastrukture so bili uporabljeni naslednji standardi:

- spletna kartografska orodja (OpenGIS WMS – *web map service specification*),
- spletna orodja za prostorski podatkovni sloj (OpenGIS WCS – *web coverage service specification*),
- specifikacija za kataloška orodja (*OpenGIS catalog services specification*).

3 DMCSEE sistem za spremljanje suš – statične karte

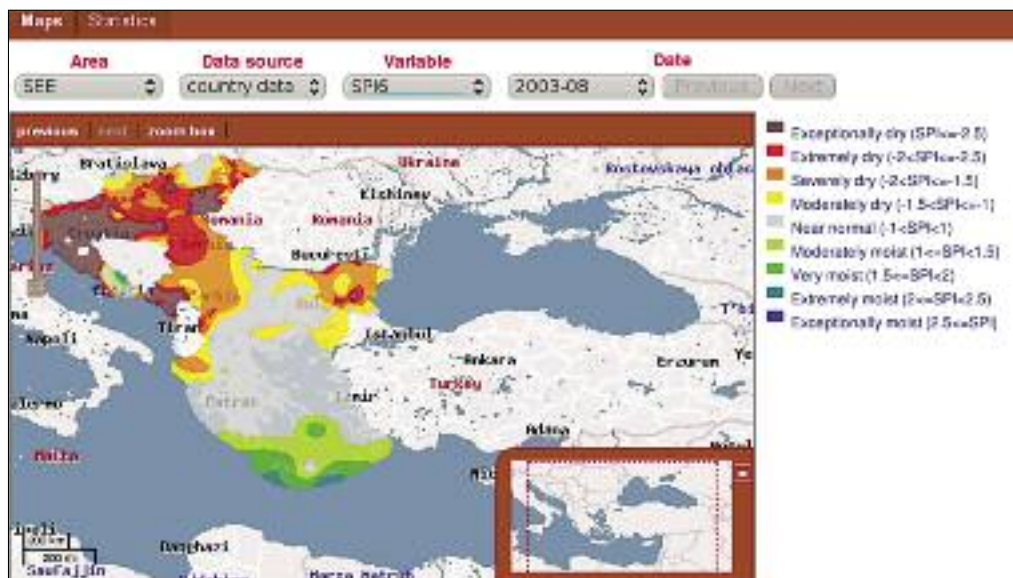
DMCSEE je regionalni sušni center, ki uporabnikom iz regije zagotavlja informacije o razvoju in stopnji pojava suše v regiji. Obstoječi sistem ponuja izračune standardiziranega padavinskega indeksa SPI (Mckee 1993) in padavinskih percentilov v obliki statičnega spletnega zemljevida kot strežniški odgovor na uporabniško zahtevo. Infrastruktura temelji na odprtokodnem geografskem informacijskem sistemu GRASS. DMCSEE za izračun SPI-ja in padavinskih percentilov uporablja podatke Globalnega centra za klimatologijo padavin (GPCC), ki izdeluje karte padavin na prostorski ločljivosti 0,5°. Sistem za spremljanje suše prikazuje sveže informacije v realnem času; takoj, ko so na voljo novi podatki z GPCC-ja, sistem izračuna nove vrednosti omenjenih sušnih indeksov. Te vrednosti se nato shranjujejo v podatkovno bazo GRASS, ki je zaprta za širšo uporabo. Iz omenjene baze sistem izdela karto prostorske porazdelitve sušnih indeksov (Medved-Cvikl s sodelavci 2011).

4 DMCSEE sistem za spremljanje suše – dinamični zemljevidi

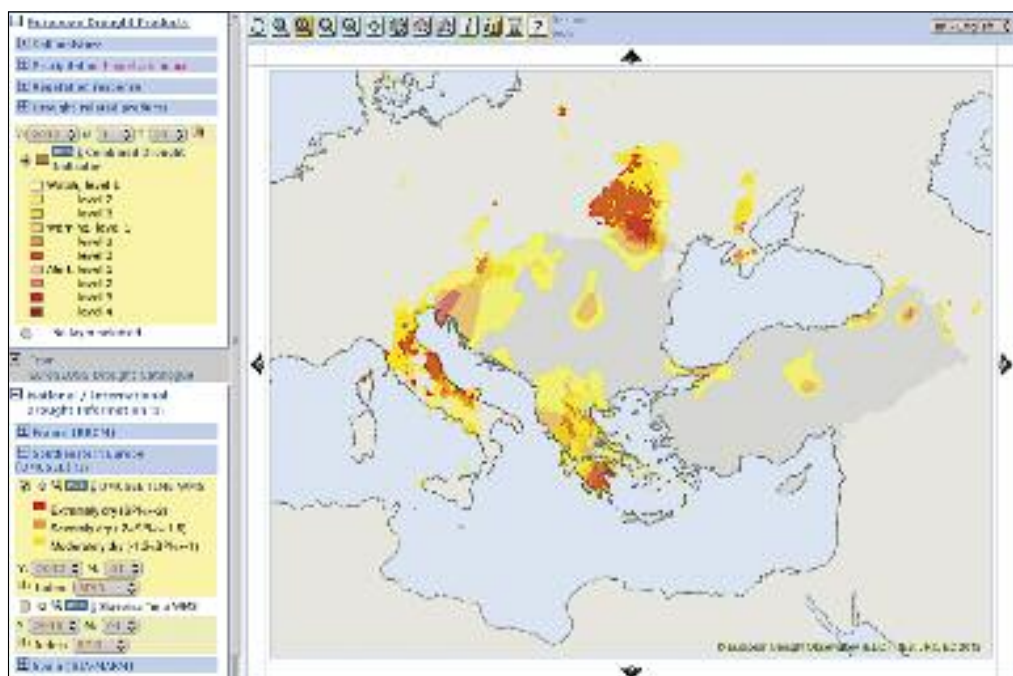
Ker so GPCC podatki precej nenatančni (ločljivost 0,5 krat 0,5°), je DMCSEE razvil spletno aplikacijo, prek katere lahko člani DMCSEE konzorcija nalagajo sušne indekse svojih držav v obliki različnih rasterskih formatov. Aplikacija v ozadju te rastre uvozi v GRASS, jih preprojicira v enoten koordinatni sistem in na enotno prostorsko ločljivost ter posodobi orodje WMS. Aplikacija oblikuje kompozitume (zlepke sušnih indeksov večih držav za isto obdobje) in izračuna statistiko po administrativnih regijah. V aplikacijo je vključen tudi prikazovalnik (slika 2) za prikaz DMCSEE zemljevidov.

5 EDO sistem za spremljanje suše – porazdeljene karte

V okviru projekta EuroGEOSS (EuroGEOSS 2010; Medved-Cvikl in sodelavci 2011) smo z uporabo OGC specifikacij sušne indekse začeli prikazovati kot porazdeljene karte (Neumann 2008) na EDO portalu (medmrežje 2). Produkte sistema za spremljanje suše na DMCSEE-ju smo vključili v EDO z veriženjem spletnega vmesnika z WMS specifikacijo. Z uporabo WMS-ja lahko uporabniki v EDO pregledovalniku zemljevidov zahtevajo različne zemljevide proizvajalcev podatkov od porazdeljenih spletnih strežnikov. Strežnik vrne izvedeno podobo in ne dejanskih prostorskih podatkov. Posledično ima uporabnik možnost dostopa do DMCSEE produktov na EDO spletnem pregledovalniku zemljevidov. Posredovani zemljevidi prekrivajo isto področje, imajo enake razsežnosti in so prosojni, zato jih lahko uporabnik prekriva in dobi kombinirano karto (slika 3). Porazdeljena karta poleg osnovne izbirne funkcije za časovni obseg prikaza vsebuje tudi druge funkcije, ki povečujejo interaktivnost izvedenih podatkov za uporabnika. Tako je mogoče približati podatke na državno ozemlje, regionalno



Slika 2: Spletni prikazovalnik kart na DMCSEE (medmrežje 1).



Slika 3: Kombiniran zemljevid sušnih indeksov SPI (izračunan na DMCSEE) in EDO kombiniranega sušnega indikatorja (Combined Drought Indicator) za januar 2012.



Slika 4: Metapodatkovni katalog EuroGEOSS (medmrežje 4).

raven (povečava za širše območje Jugovzhodne Evrope), raven mesta, meteorološke postaje, reke in porečja.

Sušni indeksi na sistemu za spremljanje suše DMCSEE so postali z uporabniškim vmesnikom ter WCS (medmrežje 3) specifikacijo dosegljivi tudi za *offline* analize, saj jih je mogoče shraniti lokalno s klikom na ikono WCS (slika 3), kjer je vzpostavljena avtomatska povezava z DMCSEE uporabniškim vmesnikom. Uporabniški vmesnik ponuja možnost izbire časovnega obsega podatkov, slikovnega formata ter prostorskega obsega podatkov.

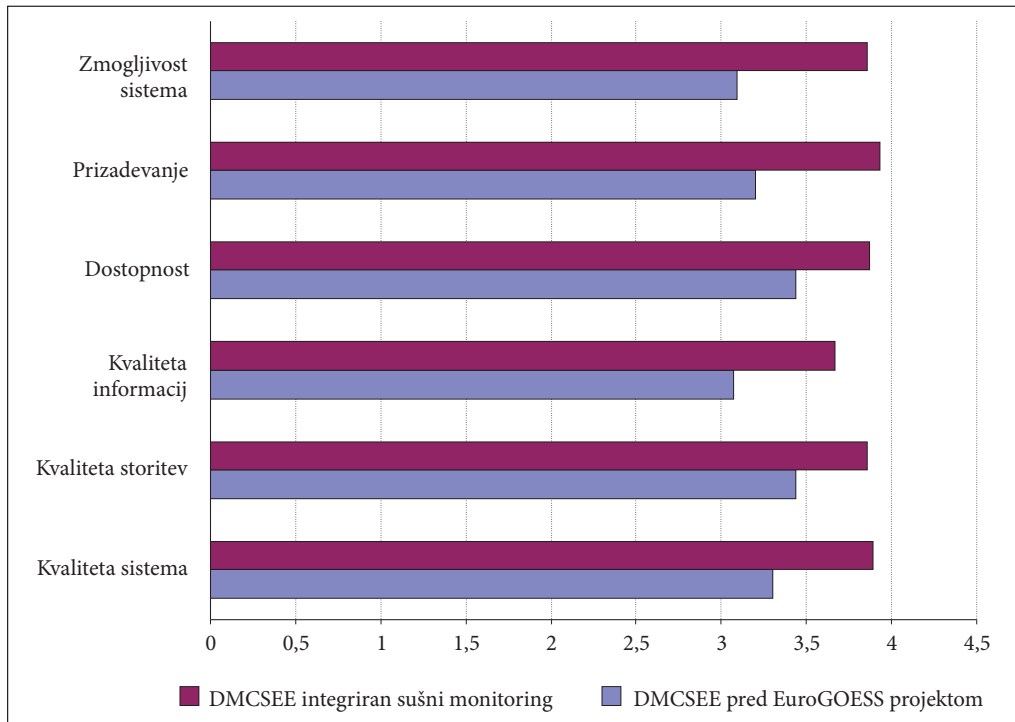
INSPIRE direktiva predvideva, da se v prostorsko infrastrukturo vključujejo metapodatki o spletnih orodjih za prostorske podatke ter prostorski podatkovni nizi brez orodij (Direktiva INSPIRE 2007). Ta INSPIRE zahteva se je upoštevala v izgradnji medopravilne infrastrukture za sušne podatke, saj so aplikacije partnerjev z OGC specifikacijami povezane v zgoraj predstavljeno koherentno predstavitevno infrastrukturo. V spletno kataložno orodje so vključeni metapodatkovni opisi podatkovnih nizov brez aplikacij za predstavitev in izmenjavo podatkov. V metapodatkovnem katalogu je mogoče iskati sušne produkte po ključnih besedah, tipu podatkov in proizvajalcu podatkov (slika 4). Kot dodatni mož-



Slika 5: Primerjava štirih različnih indeksov za širše območje Jugovzhodne Evrope (zgoraj levo je prikazan indeks fAPAR – vir podatkov je EDO; zgoraj desno SPI – vir podatkov je DMCSEE; spodaj levo graf časovnega niza fAPAR – vir podatkov je EDO; spodaj desno je SPI za Slovenijo, ki je bil izračunan na podlagi goste mreže meteoroloških opazovalnic Agencije Republike Slovenije za okolje – vir podatkov je DMCSEE). fAPAR (fraction of absorbed photosynthetically active radiation) predstavlja delež absorbiranega fotosintetsko aktivnega sevanja, neposredno povezanega s produktivnostjo rastlin; posledično je dober pokazatelj sušnega stresa in ga uporabljamo pri spremljanju suše.

nosti za iskanje podatkov sta bili vključeni še iskanje po časovnem obsegu ter iskanje po družbeno pomembnih področjih (*societal benefits areas*), kar je zahteva skupine GEO (partnerstvo različnih vladnih ter mednarodnih organizacij na področju oblikovanja GEOSS) za iskanje podatkov v GEOSS portalu (GEO 2009). Infrastruktura poleg tehnične medopravnosti ponuja tudi semantično medopravnost; slednje smo dosegli z izboljšanjem iskalnega niza ter oblikovanjem besednjaka s področja suš (Latre s sodelavci 2011). Besednjak je organiziran v več pomenskih skupin (meteorologija, hidrologija in pedologija) ter preveden v 10 jezikov Jugovzhodne Evrope, španskega, francoskega, portugalskega ter nemškega. S tem smo dosegli boljše učinkovitost procesa iskanja podatkov v več jezikovnem evropskem okolju.

EDO portal omogoča sledenje stanju suše na podlagi različnih indeksov. Sistem je bil nadgrajen z orodji za analiziranje ter primerjavo teh indeksov, pridobljenih iz različnih podatkovnih baz. S tem je uporabniku omogočena vizualna primerjava sušnega stanja za izbrano območje. Uporabnik v prikazovalniku opazuje prostorski vzorec suše na celinski, regionalni in nacionalni ravni. Poleg kartografske predstavitve je za izbrano območje mogoče narisati graf za točko v središču območja (slika 5), na katerem je narisana časovni niz prostorsko povprečenih vrednosti izbranega sušnega indeksa. Poleg funkcionalnosti za primerjavo štirih različnih indeksov lahko z vzpostavljenim kartografskim prikazovalnikom primerjamo isti indeks na izbranem območju za štiri različna časovna obdobja, pri čemer je primerjava odvisna od razpoložljivosti oziroma frekvence obnavljanja podatkov na strani proizvajalcev podatkov.



Slika 6: Ocena DMCSEE sistema pred in po implementaciji medopravilnosti (1 – slabo, 5 – dobro).

6 Uporabniški vidik

Medopravilni sistem za spremljanje suš je okrepil predvsem povezave med obstoječimi operativnimi sistemi za spremljanje suše. S tem se je izboljšal dostop do sušnih informacij na vseh ravneh. Vsak napredek v sistemu je smiselno, če ga uporabnik sistema zazna kot izboljšavo pri opravljanju delovnih nalog (Davis 1989). S tem namenom je bila izvedena anketa med uporabniki DMCSEE portala. Uporabnike smo zaprosili za oceno sistema glede zmogljivosti, sprejemljivosti kvalitete informacij, storitev in napora, ki ga je treba vložiti v razumevanje sistema. Faktor napora tvori kumulativna ocena naslednjih elementov: dostopnost, enostavnost uporabe ter razumljivost. Uporabniki so po implementaciji medopravilnosti na vseh področjih zaznali velik napredek. Največja razlika je bila ugotovljena pri zmogljivosti sistema (učinkovitost in uporabnost), saj je bila ta višja kar za 24%. Za 20% je bila višja tudi ocena faktorja kvalitete informacij, sestavljenega iz elementov pravilnosti, pokritosti, verodostojnosti, pravočasnosti in dodane vrednosti (slika 6).

7 Sklep

Spletno kartiranje in spletna kartografija postavljata znanstveno skupnost, ki dela s sušnimi podatki, pred nove izzive, saj OGC spletne specifikacije odpirajo nove možnosti za predstavitev prostorskih podatkov ter rezultatov analiz. Poleg problema ustrezne konfiguracije sistemov se posamezne raziskovalne skupine srečujejo tudi z izzivi, katere specifikacije uporabiti, da bo pri tem še vedno zagotovljena

intelektualna lastnina podatkov, spoštovana institucionalna politika izmenjave podatkov ter zagotovljena zadostna interpretacija slednjih v nadaljnjih analizah ali celo pri vključitvi v spletna orodja za procesiranje podatkov. Predstavljeni model veriženja operativnih sistemov predstavlja velik napredek na področju spremljanja suš v jugovzhodni Evropi v okviru DMCSEE, saj sta interaktivnost predstavljenih kartografskih rezultatov in dostopnosti podatkov za nadaljnje *offline* analize vse večji. Hkrati se z oblikovanjem centralnih vstopnih točk za dostop do sušnih podatkov izboljšuje tudi razumevanje pojava suše v prostoru in času.

8 Viri in literatura

- Alameh, N. 2003: Service chaining of interoperable geographic information web services. IEEE Internet Computing 7-5. Washington.
- Davis, F. D. 1989: Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly 13. Michigan.
- Direktiva 2007/2/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 14. marca 2007 o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Evropski skupnosti (INSPIRE). Medmrežje: <http://eur-lex.europa.eu/> (20. 2. 2012)
- EuroGEOSS, A European approach to GEOSS. Medmrežje: <http://www.eurogeoss.eu/default.aspx>. (20. 2. 2012).
- GEO, 2009. GCI Consolidated Requirements. Medmrežje: http://www.earthobservations.org/documents/gci/gci_requirements_20090312.doc (20. 2. 2012).
- Latre, M. A., Hofer, B., Lacasta, J., Noguera-Iso, J. 2012: The development and interlinkage of a drought vocabulary in the EuroGEOSS interoperable infrastructure. International Journal of Spatial Data Infrastructures Research 7. Ispra.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kliest, J. 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim.
- Medmrežje 1: <http://www.dmcsee.org/GISapp> (20. 2. 2012).
- Medmrežje 2: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/php/index.php?action=view&id=1> (15. 3. 2012).
- Medmrežje 3: <http://www.dmcsee.org/en/wcs> (15. 3. 2012).
- Medmrežje 4: <http://eurogeoss.unizar.es/Search/Search.html> (15. 3. 2012).
- Medved-Cvikl, B., Ceglar, A., Kajfež-Bogataj, L. 2011: Medopravilnost na področju spramljanja stanja suš. Geodetski vestnik 55-1. Ljubljana.
- Medved-Cvikl, B., Ceglar, A., Kralj, T., Črepinšek, Z., Kajfež-Bogataj, L. 2011: EuroGEOSS model upravljanja s sušami. Neodgovorna odgovornost, Naravne nesreče 2. Ljubljana.
- Neumann, A. 2008: Encyclopedia of GIS: Web mapping and Web Cartography. London.
- Šumrada, R. 2005. Tehnologija GIS. Ljubljana.

PREVERJANJE POKRAJINSKIH TIPOV SLOVENIJE Z GEOGRAFSKIM INFORMACIJSKIM SISTEMOM

Rok Ciglič, dr. Drago Perko

Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti
rok.ciglic@zrc-sazu.si, drago@zrc-sazu.si

UDK: 911.5(497.4)
91:659.2:004

IZVLEČEK

Preverjanje pokrajinskih tipov Slovenije z geografskim informacijskim sistemom

V prispevku predstavljamo nekaj statističnih metod, s katerimi lahko vrednotimo določeno geografsko tipizacijo in ugotovljamo, ali se pokrajinski tipi tipizacije statistično značilno razlikujejo glede na izbrane podatkovne sloje pokrajinskih prvin. Preverili smo vse tipe dveh geografskih tipizacij Slovenije. Starejša z 9 tipi je bila z uporabo geografskega informacijskega sistema izdelana le deloma, novejša s 24 tipi pa v celoti.

KLJUČNE BESEDE

geografija, geografska tipizacija, pokrajinski tip, Slovenija, statistične metode, geografski informacijski sistem

ABSTRACT

Verification of Slovenia's landscape types using geographic information system

The paper presents some statistical methods that can evaluate certain geographical typification and determine whether landscape types of typification significantly differ depending on the selected data layers of landscape elements. We examined all types of 2 geographical typifications of Slovenia. The older one with 9 types has been determined by using geographic information system only in part, while the later one with 24 types in all.

KEY WORDS

geography, geographical typification, landscape type, Slovenia, statistical methods, geographic information system

1 Uvod

V okviru aplikativnega projekta Določanje naravnih pokrajinskih tipov Slovenije z geografskim informacijskim sistemom, ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, sofinancira pa Slovenska akademija znanosti in umetnosti, uporabljamo GIS-e predvsem kot:

- orodje za vrednotenje podatkovnih slojev, potrebnih za geografske tipizacije,
- orodje za izvajanje geografskih tipizacij oziroma določanje pokrajinskih tipov,
- orodje za vrednotenje geografskih tipizacij.

Podatkovne sloje, na katerih sloni geografska tipizacija, lahko vrednotimo na več načinov, na primer na podlagi njihove prostorske ločljivosti, kakovosti zajema, medsebojne povezanosti ali statističnih lastnosti. Poleg tega lahko ugotavljamo, kako dobro se podatkovni sloji povezujejo z obstoječimi geografskimi tipizacijami oziroma v kakšni meri pojasnjujejo razlike med tipi znotraj tipizacije. Pri takšnem vrednotenju podatkov lahko za vsak podatkovni sloj ugotovimo, kako močno se povezuje z izbrano tipizacijo Slovenije, hkrati pa lahko vrednotimo tudi obratno, torej ugotavljamo, katera od tipizacij se bolje povezuje z določenim podatkovnim slojem oziroma je z vidika tega podatkovnega sloja ustreznejša, boljša.

V okviru projekta smo za takšne primerjave uporabili oziroma izračunali več kazalnikov, na primer:

- informacijski prispevek,
- razmerje informacijskega prispevka,
- delež pravilno uvrščenih celic pri gradnji odločitvenega drevesa z algoritmom CRT,
- povezanost med nominalnim slojem tipizacije in številskimi podatkovnimi sloji – η^2 (eta²).

Z uporabo več kazalnikov oziroma metod pri vrednotenju tipizacije in podatkov lahko različne ocene med seboj primerjamo in povečamo objektivnost.

Primere vrednotenja podatkovnih slojev lahko najdemo na različnih raziskovalnih področjih. Mora, Wulder in White (2010) so za optimalen nabor spremenljivk za napovedovanje višine gozdnih sestojev s pomočjo regresijskih dreves uporabili Hill-Smithov test, s katerim so izračunali stopnjo povezanosti med spremenljivkami in ročno določenimi višinami sestojev. Krevs (1994) je za preučevanje trgovine na drobno ocenil pomen dejavnikov s korelacijsko in multiplo regresijsko analizo. Ciglič (2010) je s pomočjo informacijskega prispevka in razmerja informacijskega prispevka primerjal količino informacije dveh podatkovnih slojev (višinska razlika, nadmorska višina) glede pojasnjevanja lege vinogradov v Sloveniji. Tirellijeva in Pessanijeva (2011) sta za izbor podatkovnih slojev uporabili štiri različne metode: χ^2 , informacijski prispevek (*information gain*), razmerje informacijskega prispevka (*gain ratio*) in simetrično negotovost (*symmetrical uncertainty*). Izbrane spremenljivke sta uporabili za izdelavo modelov nevronskega omrežja in odločitvenih dreves za napovedi prisotnosti oziroma odsotnosti ribjih populacij. Z Mann-Whitneyjevim testom sta Warren in Asch (2005) ugotavljala, ali se območja arheoloških najdišč razlikujejo od območij brez njih glede na posamezne podatkovne sloje.

Tudi primerov ocenjevanja končnih klasifikacij je veliko. Kampichler je s sodelavci (2010) uporabil različne metode strojnega učenja za določanje prisotnosti oziroma odsotnosti vrste divjega purana (*Melagris ocellata*). Rezultate je ocenil na podlagi mere NMI (*normalised mutual information*). Več metod strojnega učenja in statističnih metod sta za razvrščanje vrst netopirjev preučila tudi Armitage in Ober (2010). Njihovo uspešnost sta ocenjevala na različne načine (klasifikacijska natančnost, senzitivnost, specifičnost ...), ocenjevala pa sta tudi relevantnost vhodnih podatkov. Chan in Paelinckx (2008) sta klasifikacijsko točnost pri razvrščanju ekotopov preverjala z dvema različnima metodama. Drăguț in Eisank (2012) sta klasifikacijo na podlagi reliefnih značilnosti ocenila s pomočjo statističnih metod (povprečna varianco znotraj posameznih segmentov in Moranov *I*) ter kvalitativnega ocenjevanja strokovnjakov.

V prispevku skušamo z nekaterimi statističnimi metodami ugotoviti, ali je izdelana tipizacija z vidika izbranih podatkovnih slojev smiselna (statistično značilna). Za analizo smo izbrali dve tipizaciji: **tipizacijo Slovenije z 9 pokrajinskimi tipi** (Perko 2007) in **tipizacijo Slovenije s 24 pokrajinskimi**

tipi, ki je bila v okviru projekta izdelana z geografskimi informacijskimi sistemi na podlagi kamnin, rastja in razgibanosti reliefa.

Za testiranje obeh tipizacij smo uporabili naslednje podatkovne sloje v ločljivosti 200 m (kar za območje Slovenije pomeni približno 500.000 celic):

- nadmorska višina površja,
- naklon površja,
- ekspozicija površja,
- gostota rečne mreže (v krogu s polmerom 500 m),
- padavinski režim (razmerje med poletno in jesensko količino padavin),
- temperaturna razlika (razlika med julijsko in januarsko temperaturo).

2 Geografska tipizacija Slovenije z 9 enotami

Za preverjanje pokrajinskih tipov smo najprej izbrali razmeroma preprosto geografsko tipizacijo, ki Slovenijo na prvi ravni deli na 4 pokrajinske tipe in na drugi ravni na 9 pokrajinskih tipov oziroma podtipov (slika 1). Prva raven je povezana z lego Slovenije na stiku štirih velikih evropskih geografskih enot: Alp, Panonske kotline, Dinarskega gorovja in Sredozemlja, na drugi ravni pa so tipi prve ravni razdeljeni predvsem glede na relief in kamnine (Perko 2007, 33–54).

Shema te geografske tipizacije, ki sloni predvsem na naravnih sestavinah pokrajine in rabi tal, je naslednja:

- prvi tip (alpske pokrajine) ima tri podtipe (alpska gorovja, alpska hribovja in alpske ravnine),
- drugi tip (panonske pokrajine) ima dva podtipa (panonska gričevja in panonske ravnine),
- tretji tip (dinarske pokrajine) ima dva podtipa (dinarske planote ter dinarska podolja in ravniki),
- četrti tip (sredozemske pokrajine) ima prav tako dva podtipa (sredozemska gričevja in sredozemske planote).

Na tej podlagi je bila izdelana tudi regionalizacija Slovenije (Perko 2007, 55), ki Slovenijo na prvi ravni deli na 4 makroregije in na drugi ravni na 48 regij. Shema je naslednja:

- prva makroregija (Alpe) ima 11 regij (na primer Julijske Alpe, Posavsko hribovje ali Savska ravan),
- druga makroregija (Panonska kotlina) ima 12 regij (na primer Haloze ali Murska ravan),
- tretja makroregija (Dinarsko gorovje) ima 19 regij (na primer Javorniki in Snežnik ali Bela krajina),
- četrta makroregija (Sredozemlje) pa ima 6 regij (na primer Goriška brda ali Kras).

Meje makroregij pri regionalizaciji so enake mejam tipov pri tipizaciji (na primer makroregija Alpe pri regionalizaciji se prostorsko ujema s tipom alpske pokrajine pri tipizaciji), vsaka od regij pri regionalizaciji pa ustreza enemu od podtipov pri tipizaciji (na primer v makroregiji Alpe so 4 regije podtipa alpsko gorovje, 5 regij je podtipa alpsko hribovje, 2 regiji pa sta podtipa alpska ravnina).

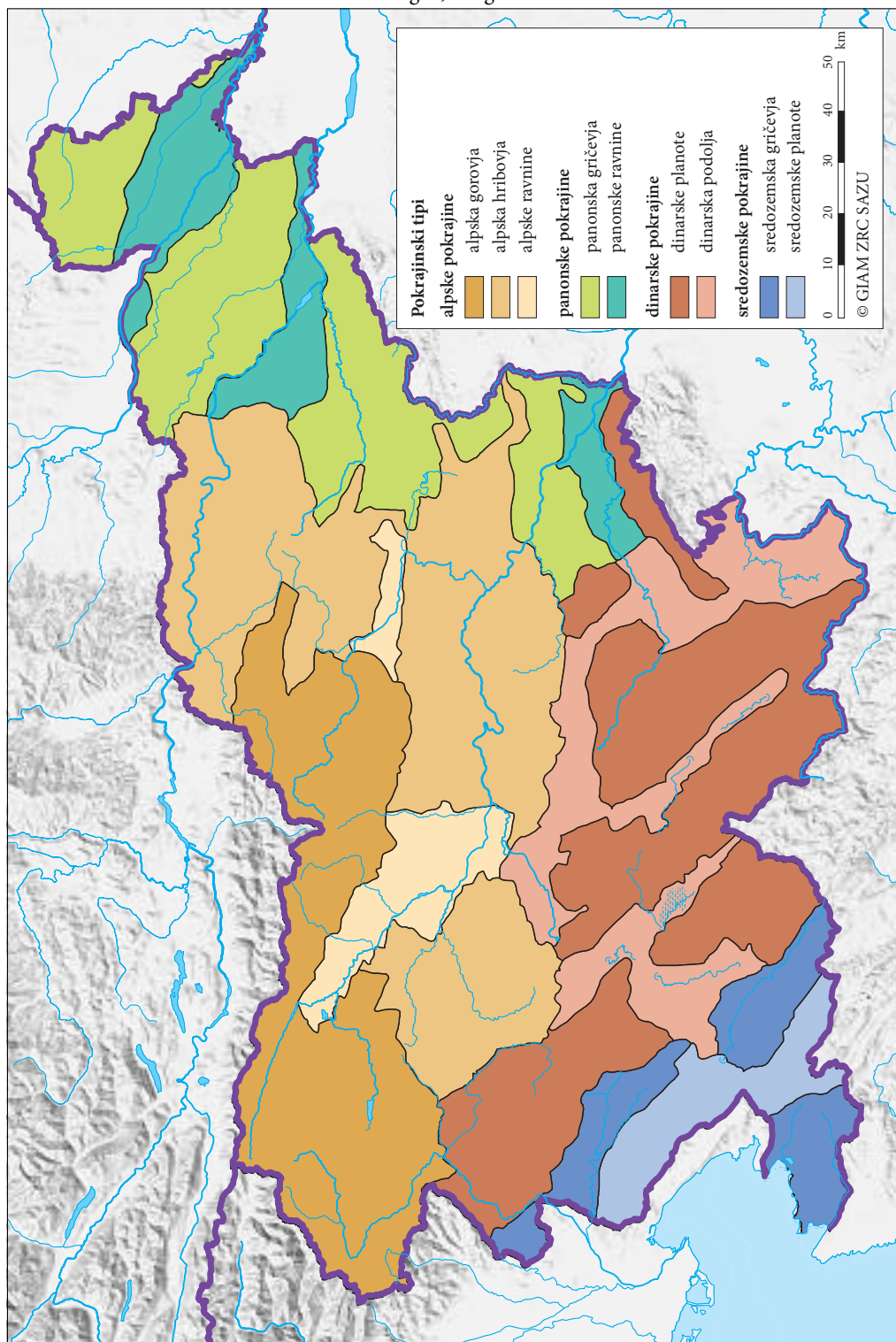
3 Geografska tipizacija Slovenije s 24 enotami

Za preverjanje pokrajinskih tipov smo izbrali tudi geografsko tipizacijo, ki sloni na prostorskem prekrivanju 4 reliefnih, 7 litoloških in 7 potencialnovetacijskih enot. Izoblikovanost površja, kamnine in rastje namreč najbolj vplivajo na zunanjo podobo slovenskih pokrajin.

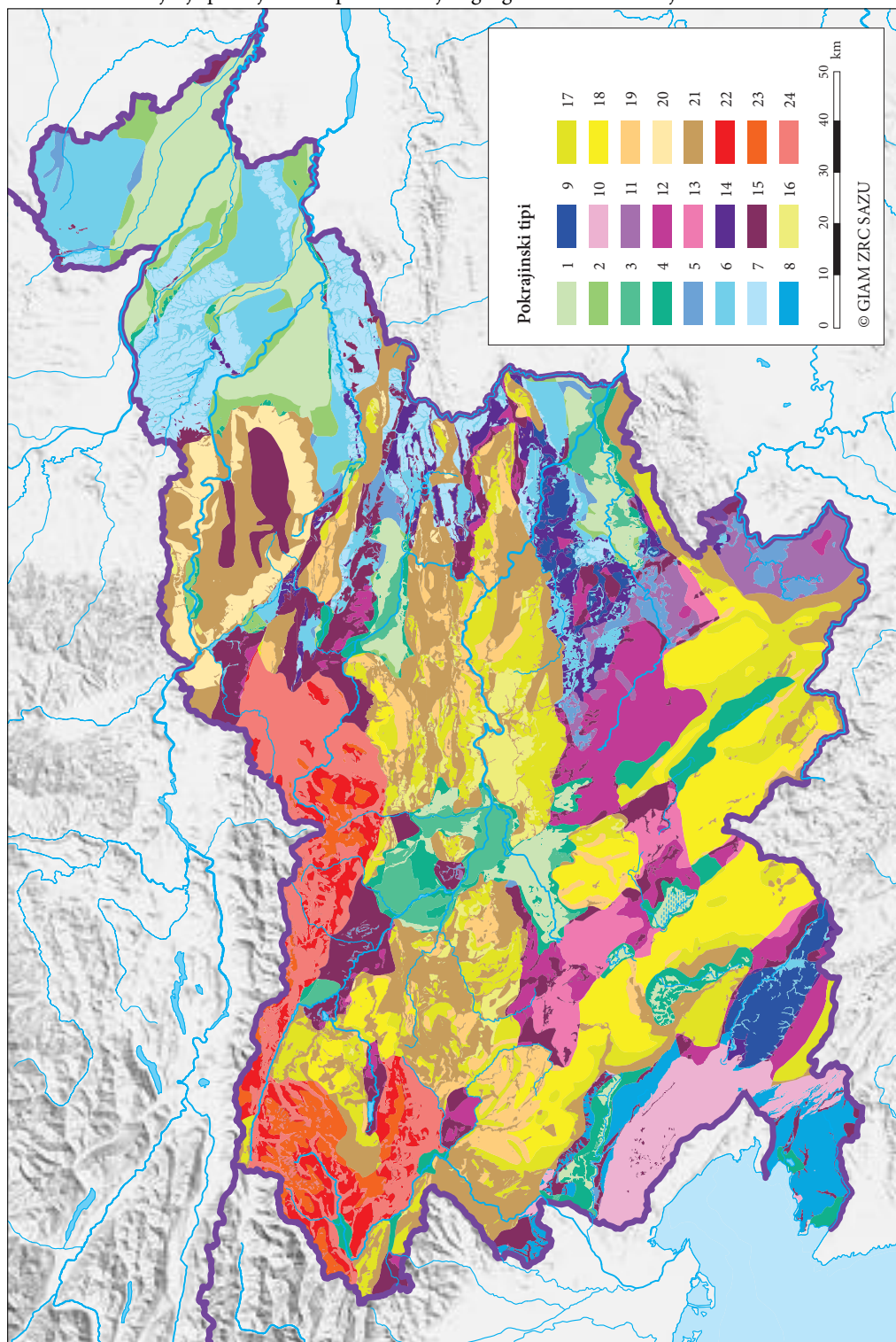
Teoretično je možnih 196 enot, dejansko se pojavlja 175 kombinacij, od tega pa 30 najbolj pogostih kombinacij prekriva več kot dve tretjini površja Slovenije. Končna različica te tipizacije, ki je v celoti izdelana z geografskim informacijskim sistemom, ima 24 pokrajinskih tipov: 4 ravninske (15 % Slovenije), 11 gričevnatih (37 % Slovenije), 6 hribovskih (38 % Slovenije) in 3 gorske tipe (10 % Slovenije).

Slika 1: Geografska tipizacija Slovenije z 9 tipi (Perko 2007, 54). ► (str. 84)

Slika 2: Geografska tipizacija Slovenije s 24 tipi (številk pokrajinskih tipov so enake kot pri opisu tipizacije v poglavju 3). ► (str. 85)



Preverjanje pokrajinskih tipov Slovenije z geografskim informacijskim sistemom



Shema te geografske tipizacije je naslednja:

- 1: ravnina iz nekarbonatnih usedlin z belim gabrom, dobom in rdečim borom,
- 2: ravnina iz nekarbonatnih usedlin z bukvijo, kostanjem in hrasti,
- 3: ravnina iz karbonatnih usedlin z belim gabrom, dobom in rdečim borom,
- 4: ostale ravnine,
- 5: gričevje iz nekarbonatnih usedlin z belim gabrom, dobom in rdečim borom,
- 6: gričevje iz nekarbonatnih usedlin z bukvijo, kostanjem in hrasti,
- 7: gričevje iz drobnozrnatih klastičnih kamnin z bukvijo, kostanjem in hrasti,
- 8: gričevje iz fliša s puhastim hrastom in gradnom,
- 9: gričevje iz fliša z bukvijo, kostanjem in hrasti,
- 10: gričevje iz karbonatnih kamnin s puhastim hrastom in gradnom,
- 11: gričevje iz karbonatnih kamnin z belim gabrom, dobom in rdečim borom,
- 12: gričevje iz karbonatnih kamnin z bukvijo,
- 13: gričevje iz karbonatnih kamnin z bukvijo in jelko,
- 14: gričevje iz karbonatnih kamnin z bukvijo, kostanjem in hrasti,
- 15: ostala gričevja,
- 16: hribovje iz grobozrnatih klastičnih kamnin z bukvijo,
- 17: hribovje iz karbonatnih kamnin z bukvijo,
- 18: hribovje iz karbonatnih kamnin z bukvijo in jelko,
- 19: hribovje iz karbonatnih kamnin z bukvijo in gabrovcem,
- 20: hribovje iz metamorfnih in magmatskih kamnin in tufov z bukvijo, kostanjem in hrasti,
- 21: ostala hribovja,
- 22: gorovje iz karbonatnih kamnin z bukvijo,
- 23: gorovje iz karbonatnih kamnin z jelko, smreko in visokogorskim rastjem,
- 24: ostala gorovja.

4 Metode dela

Za ugotavljanje kakovosti tipizacije glede na posamezne podatkovne sloje smo najprej uporabili **analizo variance** oziroma **F test**, s katerim smo ugotavljali, ali se vrednosti spremenljivk razlikujejo po posameznih skupinah (Foster 2006), v našem primeru pokrajinskih tipih. Ker je analiza variance občutljiva na nenormalno porazdelitev podatkov ter neenake variance po skupinah, smo izvedli tudi ustrezne neparametrične teste, čeprav nekateri viri omenjajo, da je analiza variance »... *dokaj robustna metoda glede neizpolnjevanja domnev, če je statistična značilnost testov manjša od 0,01* ...« (Rogerson 2006; SPSS 2008). Za potrditev rezultatov smo zato uporabili tudi **Brown-Forsytheov test** in **Welchov test**, ki ne predvidevata enakih varianc po skupinah in povesta, ali so povprečja po skupinah (pokrajinskih tipih) različna (SPSS 2008), ter dve neparametrični metodi: **Kruskal-Wallisov test** in **test median**. Prva ugotavlja, ali so povprečja rangov (ali pa vsota rangov) različna po skupinah (pokrajinskih tipih), druga pa testira, ali so mediane skupin različne (Rogerson 2006). Pri vseh omenjenih testih ničelna hipoteza pravi, da med skupinami ni razlik, nasprotna pa, da razlike so (SPSS 2008).

Omenjeni načini ugotavljanja ustreznosti podatkovnih slojev oziroma ujemanja med tipizacijo in posameznim podatkovnim slojem dajejo informacijo le na ravni celotne tipizacije, nič pa ne povedo o razmerjih med posameznimi tipi. Poleg tega pri omenjenih testih lahko zavrnemo ničelno hipotezo tudi, če se dve skupini (oziroma dva pokrajinska tipa) znotraj tipizacije dejansko ne razlikujeta.

V analizi smo zato uporabili tudi metodo, ki omogoča preverjanje, katere posamezne pokrajinske tipe na podlagi izbranega podatkovnega sloja (naravne značilnosti) lahko ločujemo in katerih ne moremo. Uporabili smo **Mann-Whitneyjev test**, ki omogoča primerjavo posameznih pokrajinskih tipov glede na izbrani podatkovni sloj in na podlagi primerjave rangov z določeno statistično značil-

nostjo pove, ali sta si posamezna pokrajinska tipa med seboj podobna ali ne. Ničelna hipoteza pri tem testu trdi, da dva vzorca enot, torej celic iz dveh pokrajinskih tipov, prihajata iz iste populacije (Sagadin 2003).

5 Rezultati

Rezultati Welchovega testa, Brown-Forsytheovega testa, Kruskal-Wallisovega testa, testa median in analize variance (F testa) so pri obeh tipizacijah pri statistični značilnosti 0,001 oziroma tveganju 0,1 % pokazali, da se vrednosti vsakega izbranega podatkovnega sloja med pokrajinskimi tipi razlikujejo. To pomeni, da sta obe tipizaciji kot celoti glede na te podatkovne sloje smiselni.

Z Mann-Whitneyjevim testom smo dodatno ugotovili, kateri pari pokrajinskih tipov se glede na podatkovne sloje statistično pomembno razlikujejo. Pri tem testu smo primerjali vsak možni par pokrajinskih tipov in ugotovili, ali se glede na izbrani podatkovni sloj pokrajinska tipa iz določenega para razlikujeta ali ne. Na primer, zanimalo nas je, ali so med panonskimi gričevji in sredozemskimi gričevji glede na nadmorsko višino statistično značilne razlike. Več je parov pokrajinskih tipov, ki se razlikujejo, bolj smiselna je tipizacija.

Mann-Whitneyjev test je za tipizacijo z 9 pokrajinskimi tipi pokazal, da se pri tveganju 1,0 % vsi pari pokrajinskih tipov med seboj razlikujejo glede na nadmorsko višino, naklon, padavinski režim in temperaturno razliko. Pri gostoti rečne mreže se razlikujejo vsi pari razen enega (par alpska hribovja : sredozemska gričevja), pri ekspoziciji pa vsi pari razen dveh (par panonska gričevja : sredozemska gričevja in par dinarske planote : sredozemske planote). To pomeni, na primer, da se pokrajinska tipa dinarske in sredozemske planote glede na ekspozicije statistično ne razlikujeta.

V preglednici 1 je za vse možne pare pokrajinskih tipov tipizacije z 9 tipi označeno, ali se glede na ekspozicijo pokrajinska tipa po Mann-Whitneyjevem testu razlikujeta ob tveganju 1,0 %.

Za tipizacijo s 24 pokrajinskimi tipi pa je Mann-Whitneyjev test pokazal, da se pri tveganju 1,0 % pri temperaturni razliki statistično razlikujejo vsi pari razen enega, pri naklonu vsi pari razen dveh,

Preglednica 1: Potrjena (zeleno) in zavrnjena (rdeče) statistična razlika parov pokrajinskih tipov tipizacije z 9 tipi po Mann-Whitneyjevem testu glede na podatkovni sloj ekspozicija ob tveganju 1,0 %.

	alpska gorovja	alpska hribovja	alpske ravnine	panonska gričevja	panonske ravnine	dinarske planote	dinarska podolja in ravniki	sredozemska gričevja	sredozemske planote
alpska gorovja									
alpska hribovja									
alpske ravnine									
panonska gričevja									
panonske ravnine									
dinarske planote									
dinarska podolja in ravniki									
sredozemska gričevja									
sredozemske planote									

Preglednica 2: Število parov pokrajinskih tipov, ki se po Mann-Whitneyjevem testu pri tveganju 1,0 % ne razlikujejo.

podatkovni sloj	tipizacija z 9 tipi	tipizacija s 24 tipi
ekspozicija	2	41
gostota rečne mreže	1	6
naklon	0	2
padavinski režim	0	5
letna temperaturna razlika	0	1
nadmorska višina	0	4

Preglednica 3: Število parov pokrajinskih tipov, ki se po Mann-Whitneyjevem testu pri tveganju 0,1 % ne razlikujejo.

podatkovni sloj	tipizacija z 9 tipi	tipizacija s 24 tipi
ekspozicija	3	48
gostota rečne mreže	1	8
naklon	0	2
padavinski režim	0	6
letna temperaturna razlika	0	2
nadmorska višina	0	6

pri nadmorski višini vsi pari razen štirih, pri padavinskem režimu vsi pari razen petih in pri gostoti rečne mreže vsi pari razen šestih. Pri ekspoziciji je takih parov 41, kar je 14,9 % glede na 276 vseh možnih parov.

Z Mann-Whitneyjevim testom torej lahko ugotovimo, koliko takih parov pokrajinskih tipov izbrane tipizacije se pojavi pri posameznem podatkovnem sloju (preglednici 2 in 3). Več je takih parov pri posameznem podatkovnem sloju, manj primeren je ta sloj za razlikovanje med pokrajinskimi tipi. Na tak način lahko vrednotimo podatkovne sloje.

Podobno lahko vrednotimo tudi pare pokrajinskih tipov. Večje je število podatkovnih slojev, pri katerih se pokrajinska tipa v paru ne razlikujeta, bolj smiselna je njuna združitev. Če bi se na primer pokrajinski par dinarske planote : sredozemske planote ne razlikoval samo glede ekspozicije ampak tudi glede ostalih podatkovnih slojev, bi bila združitev obojih planot smiselna.

Pri takih načinih vrednotenja podatkovnih slojev ali parov pokrajinskih tipov se je treba zavedati, da se tveganje napačnega sklepanja z naraščanjem števila posamičnih primerjav povečuje. Pri tipizaciji z 9 pokrajinskimi tipi smo naredili 36 primerjav tipov glede na posamezni podatkovni sloj, kar pri tveganju 1,0 % oziroma zaupanju 99,0 % pomeni, da je končno tveganje (McKillup and Dyar 2010) kar 30 % ($(1-0,01)^{36} = 0,70 = 70\%$). Pri tipizaciji s 24 pokrajinskimi tipi pa je zaradi 276 primerjav tipov tveganje še večje, kar 94 %. Zato je pri večjem številu primerjav pri testu bolje uporabiti čim manjše tveganje.

Ob tveganju 0,1 % (preglednica 3) je pri tipizaciji z 9 pokrajinskimi tipi in 36 primerjavami tipov glede na posamezni podatkovni sloj končno tveganje 3,5 %, pri tipizaciji s 24 pokrajinskimi tipi in 276 primerjavami pa 24,1 %. Poleg tega morata biti vzorec oziroma število celic čim večja.

6 Sklep

Uporabljene metode omogočajo vrednotenje podatkovnih slojev, tipizacij kot celote in pokrajinskih tipov znotraj tipizacije.

Ugotovili smo:

- da je razdelitev na pokrajinske tipe pri obeh tipizacijah Slovenije glede na izbrane podatkovne sloje sorazmerno zelo dobra,
- da je ekspozicija med izbranimi podatkovnimi sloji najmanj primerna za razlikovanje med tipi, kar je razumljivo, saj so ekspozicije sorazmerno enakomerno razporejene po prostorskih enotah Slovenije, in
- kateri posamični pari pokrajinskih tipov se glede na določeni podatkovni sloj ne razlikujejo.

Navedena spoznanja je treba pretehtati in jih smiselno upoštevati pri morebitnih popravkih tipizacij Slovenije.

7 Viri in literatura

- Armitage, D. W., Ober, H. K. 2010: A comparison of supervised learning techniques in the classification of bat echolocation calls. *Ecological Informatics* 5-6. Amsterdam.
- Chan, J. C.-W., Paelinckx, D. 2008: Evaluation of Random Forest and Adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment* 112-6. New York.
- Ciglič, R. 2010: Informativni vrednosti nadmorske višine in višinske razlike za ponazoritev termalnege pasu. *Acta geographica Slovenica* 50-2. Ljubljana.
- Drăguț, L., Eisank, C. 2012: Automated object-based classification of topography from SRTM data. *Geomorphology* 141-142. New York.
- Foster, J., Barkus, E., Yavorsky, C. 2006: Understanding and using advanced statistics. London.
- Kampichler, C., Wieland, R., Calmé, S., Weissenberger, H., Arriaga-Weiss, S. 2010: Classification in conservation biology: A comparison of five machine-learning methods. *Ecological Informatics* 5-6. Amsterdam
- Krevs, M. 1994: Geografska vsebina proučevanja lokacij trgovine na drobno v Sloveniji. *Geografski vestnik* 66. Ljubljana.
- McKillup, S., Dyar, M. D. 2010: *Geostatistics Explained. An Introductory Guide for Earth Scientists.* Cambridge.
- Mora, B., Wulder, M. A., White, J. C. 2010: Segment-constrained regression tree estimation of forest stand height from very high spatial resolution panchromatic imagery over a boreal environment. *Remote Sensing of Environment* 114-11. New York.
- Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. *Geografski zbornik* 38. Ljubljana.
- Perko, D. 2007: *Landscapes. Slovenia in Focus.* Ljubljana.
- Rogerson, P. A. 2006: *Statistical methods for Geography. A student's guide.* London, Thousand Oaks, New Delhi.
- Sagadin, J. 2003: *Statistične metode za pedagoge.* Maribor.
- SPSS 17.0 Help System. SPSS Statistics 17.0. 2008.
- Tirelli, T., Pessani, D. 2011: Importance of feature selection in decision-tree and artificial-neural-network ecological applications. *Alburnus alburnus alborella: A practical example.* *Ecological Informatics* 6-5. Amsterdam.
- Warren R. E., Asch, D. L. 2005: *A Predictive Model of Archaeological Site Location in the Eastern Prairie Peninsula. Practical Applications of GIS for Archaeologists. A predictive modeling kit.* Oxford.

OCENA ŠTEVILA PREBIVALCEV V NEFORMALNEM NASELJU KIBERA IZ RABE TAL Z METODO OBJEKTNE KLASIFIKACIJE

dr. Tatjana Veljanovski

Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti in Center odličnosti Vesolje-SI, tatjanav@zrc-sazu.si

Urša Kanjir

Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, ursa.kanjir@zrc-sazu.si

Primož Kovačič

Map Kibera Trust, Nairobi, Kenija, kovacic.primoz@gmail.com

UDK: 528.8:314.116(676.2)

IZVLEČEK

Ocena števila prebivalcev v neformalnem naselju Kibera iz rabe tal z metodo objektne klasifikacije V zadnjem desetletju se za ugotavljanje in kartiranje rabe tal iz visokoločljivih satelitskih posnetkov uporablja metode objektivno usmerjenih analiz, predvsem objektne klasifikacije. V prispevku to metodo predstavljamo na primeru kartiranja neformalnega naselja (sluma) Kibera v središču mesta Nairobi v Keniji. Rezultate objektne klasifikacije o bivalnih objektih povežemo z razpoložljivimi podatki vzorčnih popisov prebivalcev ter primerjamo odstopanja. Z analizo sprememb nadalje ugotavljamo v katerih območjih neformalnega naselja je bilo v zadnjih letih največ naselitvenega pritiska. Študija je rezultat sodelovanja s projektom MapKibera Project/Trust, ki se zavzema za pridobivanje prostorskih informacij ter izboljšanje bivalnih razmer v Kiberi.

KLJUČNE BESEDE

objektivno usmerjena analiza, objektivna klasifikacija, analiza sprememb, Kibera, neformalna naselja, visokoločljivi satelitski posnetki, GeoEye, daljinsko zaznavanje

ABSTRACT

Population estimation in the informal settlement Kibera from land use data obtained with object-based classification

In the last decade object-based analysis, in particular object-based classification, have been used for the identification and mapping of land use from VHR satellite imagery. In this paper a method mentioned was used in order to map the Kibera informal settlement (slum) in the heart of Nairobi city, Kenya. The results of object-based classification of residential facilities are connected with the available census data obtained on a sample of the population in the villages, and related deviations are then stressed. By change detection applied we note in which parts of the informal settlements in recent years, the settlement pressure occurred. The study is the result of the MapKibera Project/Trust, which seeks to obtain spatial information, and improve living conditions in the Kibera settlement.

KEY WORDS

object-based analysis, object-based classification, change detection, Kibera, informal settlements (slum), VHR satellite imagery, GeoEye, remote sensing

1 Uvod

Revščina je na svetovni ravni eden osrednjih problemov z vidika kršitev človekovih pravic in prav slumi so njen najbolj viden odraz (Amnesty International 2012). Nastajanje neformalnih naselij po vsem svetu je pojav, ki je povezan bodisi z valom urbanizacije v drugi polovici prejšnjega stoletja bodisi s pritokom priseljencev in/ali beguncev v zadnjih desetletjih. Razlogi so različni. Najpogosteje gre za posledice neinvestiranja v podeželska območja, vojaške konflikte na širšem območju, naravne katastrofe, kršitve lastninskih pravic (tudi razlastitve), množične prisilne izselitve zaradi prisvajanja zemlje s strani kapitalističnih korporacij ter podobno. Za ljudi s pomanjkanjem finančnih sredstev so neformalna naselja pogosto edina možnost. Zaradi množičnega preseljevanja v urbana središča ali na njihove robove tovrstna območja praviloma nastajajo in rastejo brez ustreznega prostorskega načrtovanja in ustrezne zakonodaje.

Lokalne oblasti problemov priseljevanja praviloma ne rešujejo sproti in si pred posledicami zatiskajo oči. Zaradi raznolikih vrst neformalnih naselij po svetu in zaradi njihovega razvoja je problem še bolj zapleten, saj je treba rešitve prilagoditi okoliščinam vsakega posameznega primera (na primer legalizacija naselja, zagotavljanje socialnovarstvenih storitev, izgradnja komunalne infrastrukture, programi preselitve v socialna stanovanja). Te rešitve spadajo v okvir različnih strok in politik, njihova izvedba pa je odvisna od razpoložljivih informacij o stanju naselja ter politične volje in finančne zavezanosti državnih in lokalnih ustanov.

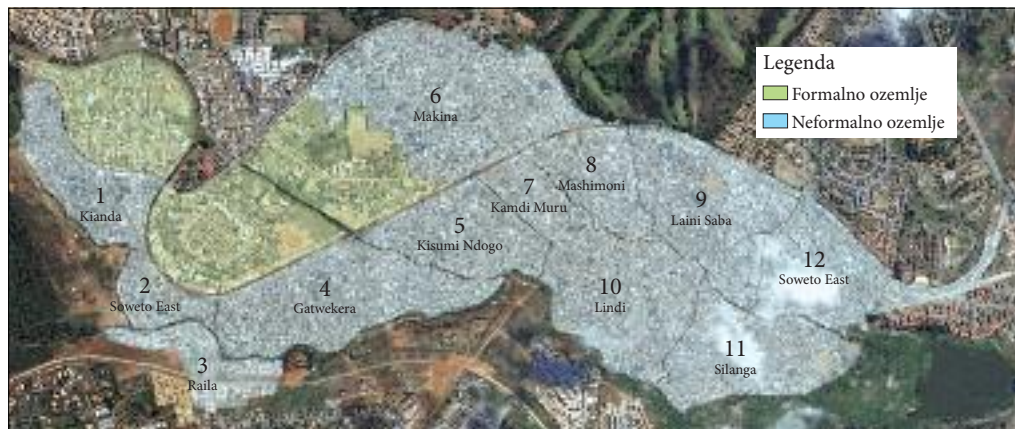
Nezakonita gradnja na mestnih območjih je resen problem tudi v afriških mestih. Za neformalna naselja Afrike so značilni zlasti izrazita revščina, pomanjkanje osnovnih socialnovarstvenih storitev (šole in zdravstveni domovi), nizka raven infrastrukture (varne ceste, vodovod, sanitarije in kanalizacija) ter visoka raven kriminala.

V državah v razvoju pogosto ni prostorskih in demografskih podatkov, ki bi omogočali spremljanje, načrtovanje in upravljanje vseh delov mestnih sistemov. Reševanje problema neformalnih naselij je oteženo prav zaradi pomanjkanja podatkov o obsegu, strukturi, opremljenosti in poseljenosti. Ta primanjkljaj lahko premostimo s pridobivanjem neodvisnih informacij iz daljinsko zaznanih podatkov. Uporaba satelitskih posnetkov danes omogoča sorazmerno hitre odgovore na vprašanja kot so: kje se nahajajo neformalna naselja, kakšna je dinamika njihove rasti, koliko ljudi potencialno živi tam, kaj njihovi prebivalci potrebujejo in podobno.

Prispevek se osredotoča na zmožnosti pridobivanja osnovnih prostorskih podatkov in njihovo uporabnost za neformalno naselje Kibera-Nairobi v Keniji s pomočjo satelitskih posnetkov visoke ločljivosti. Ameriško združenje za napredek znanosti (AAAS), ki podpira delovanje iniciative MapKibera Project/Trust (MKP/T) in drugih dejavnosti nevladnih organizacij, je doniralo nekaj satelitskih posnetkov območja. Dejavnosti MKP-ja (MKP 2011) vključujejo aktivnosti, ki zajemajo različna kartiranja stanja in pojavov v skupnosti Kibera. Cilj študije je pomagati iniciativi MKT-ja (MKT 2011) pri obdelavi satelitskih podatkov in prvemu kartiranju celotnega sluma. Zadani nalogi sta bili dve: pridobiti podrobno karto rabe tal, na podlagi katere lahko ocenimo delež bivalnih površin in s tem število prebivalcev, in drugič, analizirati zmogljivosti visokoločljivih satelitskih posnetkov za odkrivanje sprememb in širitve naselja v nedavni preteklosti. Za določitev detajlne urbane strukture neformalnega naselja Kibera smo uporabili objektno usmerjeno analizo podatkov. Rezultate morfoloških vrednosti atributov objektov stavb smo nato uporabili za ocenjevanje potencialnega števila prebivalcev v Kiberi.

2 Študijsko območje in podatki

Kibera leži na severozahodnem robu glavnega mesta Kenije Nairobija in je največje neformalno naselje v Afriki. Koliko ljudi dejansko živi v Kiberi, ni znano, ocene pa se gibljejo med 170.000 in 1 milijon prebivalcev. Gotovo je le, da na površini skoraj 2,5 km² več sto tisoč ljudi živi v slabih razmerah in pomanjkanju osnovnih storitev za dostojno življenje. Te storitve pa so: dostop do neoporečne vode,



Slika 1: Obseg in razdelitev neformalnega naselja Kibera (Nairobi, Kenija) na 12 vasi.

sanitarij, komunalne opremljenosti, zdravstvenega varstva in formalnega izobraževanja. Kibera je razdeljena na 12 vasi (Kianda, Soweto West, Raila, Gatwekera, Kisumi Ndogo, Makina, Kamdi Muru, Mashimoni, Laini Saba, Lindi, Silanga in Soweto East), kjer na manj kot 1 % celotne površine mesta Nairobi živi skoraj četrtina vseh prebivalcev (slika 1).

Satelitske podobe visoke prostorske ločljivosti, to je ločljivosti okoli in pod 1 m, omogočajo prepoznavanje podrobnosti geografskih elementov na zemeljskem površju. V študiji smo obravnavali 1 satelitski posnetek GeoEye in 2 posnetka QuickBird, ki so bili posneti med letoma 2006 in 2009. Glavne značilnosti posnetkov so opisane v preglednici 1.

Preglednica 1: Uporabljeni satelitski posnetki.

senzor	spekter/spektralni kanali	prostorska ločljivost (po ostrirenju s pankromatskim kanalom)	pokritost območja neformalnega naselja z oblaki	datum snemanja
GeoEye	vidni/R-G-B	0,5 m	majhen delež	25. 7. 2009
QuickBird	vidni/R-G-B	0,6 m	brez oblakov	10. 8. 2008
QuickBird	vidni/R-G-B	0,6 m	brez oblakov	27. 3. 2006

Poleg različne izvorne prostorske ločljivosti so glavne razlike med dobljenimi GeoEye in QuickBird posnetki različni koti snemanja. Posledica tega je, da imajo strehe višjih objektov in njihove sence različne lege med posnetki. Ker Kibera leži na razgibanem površju, so med posameznimi posnetki območja (in objekti, ki na njih ležijo) na nagnjenih pobočjih lahko precej različno pozicionirana in tudi različnih razsežnosti. Pri raziskavi nismo razpolagali z digitalnim modelom reliefa območja, zato tudi ortorektifikacija ni bila mogoča. Položajno usklajenost med geografskimi objekti na različnih podobah smo dosegli z metodo lokalnega prilagajanja (*rubber sheeting*) na podlagi več kot tisoč ročno identificiranih kontrolnih točk.

3 Metode

Za zaznavanje urbanih sistemov iz satelitskih posnetkov se uporabljajo različni pristopi. Težnja kartiranja neformalnih prebivališč je, da se dobljeni prostorski podatki lahko povežejo tudi s social-



Slika 2: Prikaz mikrostrukture neformalnega naselja Kibera. Izsek iz satelitskega posnetka GeoEye 2009.

no-gospodarskimi podatki neformalnega naselja. Za pridobitev ustreznih informacij o kompleksnih urbanih sistemih je zato treba uporabiti nove, kompleksne metode obdelave posnetkov, ki so prilagojene lastnostim podob visoke ločljivosti. Večja ločljivost namreč odstira bistveno več podrobnosti o površju in objektih, ker mora metodologija znati prepoznati in ovrednotiti ali gre za bistven podatek (pomembna značilnost geografskega objekta) ali ne. Stranski učinek visoke prostorske ločljivosti je tudi večja količina podatkov, ki zahteva več zmogljivosti za shranjevanje ter več časa obdelave. Odkrivanje strukturnih in morfoloških lastnosti neformalnih naselij iz satelitskih posnetkov je še posebej zahtevna naloga zaradi značilne mikrostrukture tovrstnih naselij: združenih ali prekrivajočih se streh, nepravilne oblike stavb ter sorodnih spektralnih lastnosti geografskih objektov v takšnih okoljih (slika 2).

Kartiranje rabe tal: Neformalno naselje Kibera je sestavljeno iz različnih velikosti stavb, ki sledijo obliki terena, so prekrte z različnimi materiali, se med seboj tesno stikajo in so povezane z mrežo netlakovanih (prašnih) vozni in peš poti. Zaradi opisanih lastnosti območja, lastnosti razpoložljivih satelitskih podatkov in stanja obstoječih metodologij obdelave podatkov smo za namen kartiranja podrobne prostorske strukture Kibere izbrali metodo objektne klasifikacije. Objektne klasifikacije spada v skupino metod objektno usmerjenih analiz rastrskih podatkov (Veljanovski s sodelavci 2011). Klasifikacija pomeni razvrščanje podatkov v tematske razrede oziroma objektne tipe. Objektne klasifikacije se od klasične, pikselne klasifikacije razlikuje po tem, da namesto posameznega piksla razvršča posamezne segmente (homogena območja) v izbrane razrede. Segmenti se tvorijo v postopku segmentacije, kjer se ob upoštevanju več kriterijev homogenosti rastrska podoba razdeli v množico manjših območij s podobnimi spektralnimi lastnostmi, segmenti. Segmenti praviloma še ne predstavljajo objektov, temveč njihove dele. V fazi klasifikacije se segmenti razvrščajo v ustrezne razrede na podlagi pravil ali učnih vzorcev. Objektne klasifikacije poteka v treh korakih: segmentacija podobe, objektne klasifikacije ter poklasifikacije (odpravljanje napak) in generalizacija (Navulur 2007).

Določanje sprememb: Neformalno naselje Kibera je z vidika možnosti prostorske širitve precej omejeno. V raziskavi nas je zanimalo, kako lahko zaznamo širitev naselja na razpoložljivih satelitskih podatkih.

Možnosti sta bili dve: primerjava stanj na podatkih objektne klasifikacije v različnih datumih (post-klasifikacijska zaznava sprememb) ter neposredna primerjava posnetkov (določanje sprememb z razlikovanjem podob). Ker je določanje rabe tal z metodo objektne klasifikacije za Kibero časovno in vsebinsko zahtevna naloga, smo se odločili za uporabo pikselske, a hitrejše tehnike. Uporabili smo večnivojsko tehniko razlikovanja podob, ki je bila razvita za posnetke srednje ločljivosti (Veljanovski 2008). Tehnika najprej poišče večja odstopanja v bolj grobem merilu (3 krat 3 piksele ali 1,5 m ločljivost) na podlagi analize lokalne okolice, nato pa samo za identificirane lokacije sprememb preverja razlike v originalnem merilu posnetkov (0,5 m ločljivost). Na tak način se izognemo dobršnemu delu t. i. navideznih sprememb, ki so posledica radiometričnih razlik v podatkih in ne pravih sprememb. Metoda zahteva kakovostno radiometrično usklajevanje posnetkov različnih datumov (uporabili smo radiometrično standardizacijo z linerano regresijo) in učinkovito rešuje problem lokalnih radiometričnih nesoglasij med posnetki.

Ocenjevanje števila prebivalcev: Ugotavljanje števila prebivalcev poteka s pomočjo popisov. V neformalnih naseljih je izvajanje popisa oteženo iz več razlogov: visoke stopnje kriminalitete v posameznih predelih in zato slabše dostopnosti, sezonske spremenljivosti števila naseljencev, nezaupanja prebivalstva za posredovanje dejanskih podatkov, neenotnih navodil za zbiranje podatkov in podobno. Zaradi nezanimanja lokalnih oblasti za dejansko ugotovitev stanja so podatke o prebivalstvu v Kiberi zbrali posamezniki ali različne organizacij, zajemali pa so jih praviloma le vzorčno, za dele posameznih vasi ali predelov naselja. V sami raziskavi smo populacijo ocenjevali na podlagi podatkov, pridobljenih z objektno klasifikacijo (skupna površina bivalnih objektov na območju) ter podatkov o gostoti prebivalstva iz več virov popisov.

4 Rezultati kartiranja rabe tal in sprememb

Ker bi bila obdelava celotnega neformalnega naselja Kibera na satelitski podobi GeoEye računsko preveč zahtevna, smo za klasifikacijo podobo razdelili na 12 manjših delov, glede na meje vasi. Da bi se izognili napačnemu razvrščanju objektov na robovih deljenih posnetkov, smo uporabili 30-metrsko vmesno cono pri maskiranju delov vasi iz celotne podobe (slika 3).

Segmentacijo in klasifikacijo smo izvedli za vsako vas posebej, z enakimi nastavitvami segmentacijskih parametrov. Dobljeni segmenti se nato nadzorovano razvrstijo s pomočjo algoritma SVM (*support vector machine*) v najbolj pripadajoče razrede. Določali smo skupno devet razredov rabe tal, od katerih so štirje razredi predstavljali stanovanjske objekte (stavbe z modrim, svetlim, rjavim in rdečim odbojem). Na ta način smo dobili boljše rezultate, kot bi jih v primeru skupnega razreda za stavbe. Delni rezultati vasi so bili nato združeni v skupno karto rabe tal za celotno območje Kibere. Podrobno kartiranje neformalnih vasi se je izkazalo za zahtevno, saj zaradi zapletene mikrostrukture streh (kombinacija različnih kritin, renovacij in senc) ni bilo mogoče določiti obrisov posameznih zgradb, ampak



Slika 3: Prikaz 30 metrske vmesne cone okoli posamezne vasi za ustrezno klasifikacijo na robovih.

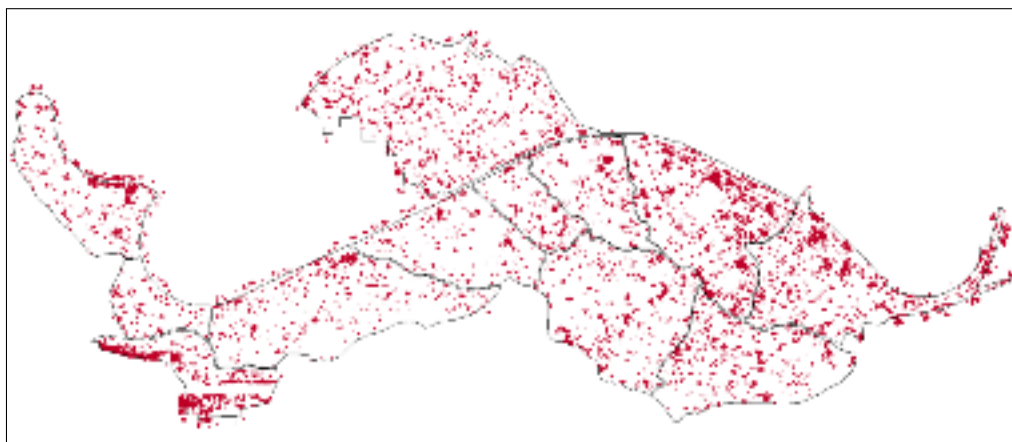


Slika 4: Rezultat objektno usmerjene klasifikacije. Združeni rezultati razvrščanja, kjer so prikazani posplošeni razredi rabe tal za celotno območje Kibere.

so se le-te pogosto zlivale v večje objekte. Zaradi tega tudi ni bilo mogoče štetje posameznih stavb in posledično s tem določitev števila prebivalcev na ta način.

Neformalno naselje Kibera je z vidika možnosti prostorske širitve precej omejeno. Na severu naselje omejujeta mesto in golf igrišče, na jugu rečna struga (slika 4). Širitve so možne, a v precej omejenem obsegu in smereh. Zato se naselje v zadnjih nekaj desetletjih ni bistveno povečalo v obsegu, se je pa zelo zgostilo, kar dokazujejo tudi rezultati analize sprememb. Za spremembe na celotnem območju Kibere smo primerjali podobi GeoEye (2009) in QuickBird (2006). Zaznane spremembe prikazuje slika 5.

Glavne spremembe v naselju Kibera so v večji meri posledica nove gradnje stavb in prenov streh večjega obsega, rušenja stavb je manj. Naselje se je zgostilo v severnem in severovzhodnem delu, razširilo (novogradnje) pa v vasi Raila (jugozahodni rob) ter ob večjih cestah (na severozahodnem in severovzhodnem robu ter vzolž večje ceste skrajno vzhodno).



Slika 5: Zaznane spremembe za celotno območje Kibere med letoma 2006 in 2009.

5 Ocenjevanje števila prebivalcev v neformalnem naselju Kibera

Skupno bivalno površino Kibere smo določili iz vsote vseh stanovanjskih območij (razred strehe) vseh dvanajstih vasi iz vektorskih rezultatov objektne klasifikacije (slika 4). Vsota pove, da je skupna stanovanjska površina Kibere 1.646.883 m², kar je za več kot 20 % večja površina, kot je le ta bila določena leta 1993 (Sartori s sodelavci 2002). Iz preglednice 2 je razvidno, da se ocena števila prebivalcev glede na različne vire vzorčnih popisov v Kiberi giblje od 150.000 do 650.000 ljudi.

Preglednica 2: Ocena števila prebivalcev v Kiberi glede na gostoto prebivalstva, pridobljeno iz različnih virov vzorčnih popisov ob upoštevanju skupne površine bivalnih objektov z objektno klasifikacijo.

vir	gostota (prebivalci na m ²)	število prebivalcev
MapKibera Project (2011)	0,10	156.652
IRIN (2006)	0,20	329.377
AHI US (2005)	0,30	494.065
Sartori s sodelavci (2002)	0,33	543.471
Sartori s sodelavci (2002)	0,39	642.284

Ker je Kibera obdana z natančno določenimi mejami, lahko sklepamo, da je povečanje stanovanjskih površin posledica gostejše naselitve znotraj naselja skozi leta. Zavedamo se, da je privzeta površina bivalnih objektov nekoliko precenjena, ker ne upošteva, da so določeni objekti (predvidoma del tistih ob cestah) lahko namenjeni drugačni rabi: trgovinam, storitvam. Odgovor na oceno, kolikšen je ta delež, lahko dobimo le s terenskim pregledom. Iz samih lastnosti streh (narava zajema satelitskih posnetkov) o tem ne moremo zanesljivo sklepati.

6 Sklep

Strehe in netlakovana tla v neformalnem naselju Kibera imajo v vidnem spektru zelo podoben spektralni odziv. Zaradi tovrstnih primerov je strategija, s katero razlikujemo in razvrščamo segmente v pravilne tematske razrede, otežena. Sorazmerno s tem se povečuje obseg dela v fazi poklasifikacije. Opisana situacija govori v prid uporabi multispektralnih podob, ki vsebujejo tudi kanale infrardečega spektra vselej, kadar želimo kartirati urbane mikrosisteme. Kljub temu lahko trdimo, da uporabljena objektno usmerjena metodologija pri analizi gosto naseljenih urbanih območjih veliko obeta. Tako pri kartiranju prostorske strukture naselja Kibera kot študiji širjenja naselja in določevanja števila prebivalcev smo dobili zelo zadovoljive in uporabne rezultate. S študijo smo potrdili, da satelitski posnetki lahko pomembno dopolnjujejo podatke, ki se na tradicionalen način zbirajo na terenu. Podatki, ki jih dobimo iz visokoločljivih posnetkov, so pomembni za načrtovanje v neformalnih naseljih (na primer za izgradnjo infrastrukture), še posebej, če so ti prostorski podatki povezani s socialno-demografskimi podatki, ki so zbrani na istem območju. Čeprav številni problemi pri uporabljeni metodologiji še ostajajo nerešeni (na primerrazmejitev posameznih stavb znotraj neformalnega naselja), se rešitve že razvijajo. Objektno usmerjene analize visokoločljivih podatkov daljinskega zaznavanja torej omogočajo izjemne možnosti za oceno števila prebivalcev v neformalnih naseljih in s tem pripomorejo tudi k udejanjanju zavez glede človekovih pravic do vode in sanitarij (izboljšanje življenjskih razmer) svetovnega prebivalstva.

7 Viri in literatura

- AHI US (2005). Affordable housing institute. Medmrežje: http://affordablehousinginstitute.org/blogs/us/2005/07/kibera_africas.html (15. 11. 2011).
- Amnesty International 2012: Življenje v slumih. Medmrežje: <http://www.amnesty.si/index.php/kampanje/zivljenje-v-slumih> (24. 2. 2012).
- IRIN (2006). Humanitarian news and analysis. A project of the UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (09/13/2006), »KENYA: Kibera, The Forgotten City«. Medmrežje: <http://www.irinnews.org/Report.aspx?ReportId=62409> (15. 11. 2011).
- MKP 2011: MapKibera Project. Medmrežje: <http://www.mapkiberaproject.org> (15. 11. 2011).
- MKT 2011: Map Kibera Trust. Medmrežje: <http://www.mapkibera.org/blog/tag/map-kibera-trust> (15. 11. 2011).
- Navulur, K. 2007: Multi-Spectral Image Analysis Using the Object Oriented Paradigm. Boca Raton.
- Sartori, G., Nembrini G., Stauffer, F. 2002: Monitoring of Urban Growth of Informal Settlements and Population Estimation from Aerial Photography and Satellite Imaging. Medmrežje: <http://www.thirstycitiesinwar.com/files/informalsettlements.pdf> (15. 11. 2011).
- UNHCR 2000: Population estimation and registration. Handbook for Emergencies. Ženeva.
- Veljanovski, T., Kanjir, U., Oštir, K. 2011: Objektno usmerjena analiza podatkov daljinskega zaznavanja. Geodetski vestnik 55-4. Ljubljana.
- Veljanovski, T. 2008: Problem navideznih sprememb pri določitvi sprememb na površju s posnetki Landsat. Geodetski vestnik 52-3. Ljubljana.

OCENA PROIZVODNE SPOSOBNOSTI ZEMLJIŠČ IZ RAZPOLOŽLJIVIH PROSTORSKIH PODATKOV

Sandi Berk, Primož Kete, dr. Tomaž Žagar, mag. Borut Pegan Žvokelj

Geodetski inštitut Slovenije

sandi.berk@gis.si, primoz.kete@gis.si, tomaz.zagar@gis.si, borut.pegan-zvokelj@gis.si

Janez Košir

Geodetska uprava Republike Slovenije

janez.kosir@gov.si

UDK: 91:659.2:004

332.66

IZVLEČEK

Ocena proizvodne sposobnosti zemljišč iz razpoložljivih prostorskih podatkov

Predstavljen je postopek ocenjevanja proizvodne sposobnosti kmetijskih in gozdnih zemljišč. Proizvodna sposobnost je določena v obliki bonitetnih točk zemljiškokatastrskih parcel. Pri tem se upoštevajo lastnosti tal, podnebja in reliefa ter posebni vplivi. Uporabljena je tehnika prostorskega modeliranja. S pomočjo razpoložljivih prostorskih podatkov se po predpisani metodologiji tvori digitalni model bonitetnih točk. S presekom parcel iz zemljiškega katastra s slojem dejanske rabe zemljišč in točkami modela so nato določene bonitetne točke posameznih parcel. Namen študije je bil preučiti možnosti vzdrževanja bonitetnih točk parcel v zbirki podatkov zemljiškega katastra.

KLJUČNE BESEDE

bonitiranje zemljišč, proizvodna sposobnost zemljišča, prostorski podatki, prostorsko modeliranje

ABSTRACT

Site productivity assessment based on available spatial data

Site productivity assessment of agricultural and woodland is presented. Site productivity is determined with the site index values for parcels from the land cadastre database. Soil type, climate, relief, and special impacts are taken into consideration. A spatial modelling technique is used. A digital site index rating model is generated using the regulatory methodology and available spatial data. Site index value for an individual parcel is extracted by overlaying its boundaries over the land use layer and the model grid points. The aim of the study was to investigate ways of performing maintenance of site index ratings in the land cadastre database.

KEY WORDS

site productivity, site productivity assessment, spatial data, spatial modelling

1 Uvod

V prispevku je obravnavana problematika določitve bonitete zemljišč. Boniteta zemljišča odraža proizvodno sposobnost kmetijskega ali gozdnega zemljišča na podlagi naravnih dejavnikov, neglede na trenutno pokrovnost zemljišča, torej je mera za proizvodni potencial zemljišča (Košir 2005). Skladno z Zakonom o ugotavljanju katastrskega dohodka (Zukd-1 2011) je boniteta osnova za določitev katastrskega dohodka, uporablja pa se tudi pri odmeri plačil za spremembe namembnosti kmetijskih zemljišč in pri vrednotenju nepremičnin. Določena je v obliki bonitetnih točk kot celoštevilaska vrednost na intervalu [0, 100]. Boniteta 100 pomeni, da gre za najboljše kmetijsko ali gozdno zemljišče. Velja omeniti, da proizvodna sposobnost zemljišča ne odraža neposredno njegove tržne vrednosti, saj na slednjo vplivajo še drugi dejavniki.

Enota določitve bonitete zemljišč je parcela, torej osnovna enota evidentiranja zemljišč v zemljiškem katastru – uradni evidenci, ki jo ureja Zakon o evidentiranju nepremičnin (ZEN 2006, spr. 2007). S tem zakonom je bila boniteta zemljišča uvedena kot nov podatek. Nadomešča dva podatka, ki sta se za vsak parcelni del vodila po sistemu katastrske klasifikacije, in sicer vrsto rabe in (za katastrske kulture) katastrski razred. Katastrski razredi na intervalu [1, 8] so se določali v okviru 42 med seboj nepriljubljenih katastrskih okrajev, in sicer na osnovi vzorčnih parcel znotraj posameznih okrajev. Prehod iz katastrske klasifikacije na boniteto zemljišč je bil podrobneje opredeljen s podzakonskim aktom (Pravilnik o vzpostavitvi ... 2008). Vzpostavitev bonitete izhaja iz prevedbenih preglednic, ki za vsak katastrski okraj, vsako katastrsko kulturo in vsak katastrski razred določajo ustrezno število bonitetnih točk.

Za določitev bonitetnih točk zemljišč z neposrednim terenskim ogledom je bila pripravljena podrobna metodologija v obliki podzakonskega akta (Pravilnik o določanju ... 2008). Bonitetne točke parcele se izračunajo na podlagi lastnosti tal, podnebja, reliefa in drugih vplivov. Geodetska uprava Republike Slovenije je objavila še podrobnejša obvezna navodila (Tehnična navodila ... 2008). Pred kratkim je izšel tudi širši strokovni javnosti namenjen priročnik (Košir 2011).

V nadaljevanju predstavljena študija (Berk s sodelavci 2011) preučuje možnosti določitve bonitete zemljišč brez terenskega ogleda, torej iz razpoložljivih prostorskih podatkov. Gre za poskus uporabe metodologije bonitiranja zemljišč, ki je sicer prilagojena določitvi bonitetnih točk zemljišč s strani posebej usposobljenih strokovnjakov z licenco neposredno na terenu, pri prostorskem modeliranju. Pripravljena sta bila analiza podatkovnih virov in predlog postopka za samodejno določitev bonitetnih točk na nivoju države. Poskusni izračun je bil izveden za območja treh geodetskih pisarn. Izvedena je bila tudi primerjava z obstoječimi bonitetnimi točkami v zbirki zemljiškega katastra. Naročnica študije je Geodetska uprava Republike Slovenije.

2 Vhodni podatki za določitev bonitetnih točk

Podatkovna zbirka, v okviru katere se določa boniteta zemljišč (kot atribut), je zemljiški kataster. Za izbrana poskusna območja smo od naročnika pridobili:

- zemljiškokatastrski prikaz (v nadaljevanju: ZKP) in
- opisne podatke zemljiškega katastra.

ZKP je podatkovni sloj parcel oziroma parcelnih delov, ki zvezno pokriva območje celotne Slovenije. Prek spletnega portala Prostor (medmrežje 1) je mogoče naročiti podatke v vektorski obliki. Opisni podatki zemljiškega katastra so na voljo v pisnem formatu. Uporabili smo datoteke VK6, ki med drugim vsebujejo tudi bonitetne točke parcele, določene na podlagi že omenjenih prevedbenih preglednic.

Prostorske podatkovne zbirke, s pomočjo katerih je bila v okviru predstavljene študije poskusno določena boniteta zemljišč, so:

- sloj dejanske rabe zemljišč,
- sloj talnih števil,

- sloj naravnogeografske tipizacije in
- digitalni model višin 5 m × 5 m.

Sloj dejanske rabe zemljišč je uradna evidenca, ki jo vodi Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, in sicer skladno z Zakonom o kmetijstvu (ZKme-1 2008). Podrobneje je način ugotavljanja dejanske rabe zemljišč opredeljen v podzakonskem aktu (Pravilnik o evidenci ... 2008, spr. 2010). Prek spletnega portala Ministrstva za kmetijstvo in okolje (medmrežje 2) je podatke o dejanski rabi mogoče pridobiti brezplačno v vektorski obliki. Za vsako zajeto območje rabe zemljišča je podana šifra dejanske rabe.

Sloj talnih števil je prav tako na voljo prek spletnega portala Ministrstvo za kmetijstvo in okolje (medmrežje 2), kjer je podatke mogoče pridobiti brezplačno v vektorski obliki. Karto je izdelala Biotehniška fakulteta (Ruprecht s sodelavci 2006), in sicer v merilu 1 : 25.000. Enota zajema je zaključeno območje z enotnim talnim številom, ki je generaliziran podatek pedosistematskih enot, izražen kot celoštevil-ska vrednost na intervalu [7, 100]. Večje število pomeni tla z boljšimi talnimi lastnostmi oziroma tla z večjim pridelovalnim potencialom.

Sloj naravnogeografske tipizacije v vektorski obliki je zagotovil naročnik študije. Karto je izdelal Geografski inštitut Antona Melika (Perko 1998 in 2007) in upošteva geološke značilnosti, površje, podnebnje, rastle in rabo tal. Karta je izdelana v merilu 1 : 1.300.000. Tipi so po tej delitvi določeni v dveh ravneh podrobnosti. Za študijo je bila skladno z metodologijo bonitiranja uporabljena druga raven z 9 tipi.

Podatke digitalnega modela višin z velikostjo celice 5 krat 5 m (v nadaljevanju: DMV 5) je prav tako zagotovil naročnik študije. Prek spletnega portala Prostor (medmrežje 1) jih je mogoče naročiti v pisnem formatu. Posamezne datoteke vsebujejo podatke za območja listov temeljnih topografskih načrtov v merilu 1 : 5000 (v nadaljevanju: TTN 5). DMV 5 je nastal kot eden izmed izdelkov projekta cikličnega aerosomenja z avtomatskim stereoizvrednotenjem aerosonetkov iz leta 2006 (Tehnična dokumentacija ... 2006). Zahtevana je bila natančnost višin, boljša od 3 m, za nezaraščena območja (okoli 38 % ozemlja države) pa boljša od 1 m. Poleg nadmorske višine sta bila za vsako točko DMV 5 določena tudi nagib terena in smer nagiba. Izračunana sta po metodi, ki upošteva sosednjih 8 točk modela.

3 Metodologija določitve bonitetnih točk

Metodologija bonitiranja v predstavljeni študiji je temeljila na pravilniku, ki je namenjen določitvi bonitetnih točk z neposrednim terenskim ogledom. Osnovna enačba za izračun bonitetnih točk se glasi (Pravilnik o določanju ... 2008, 5181)

$$B = \sqrt{T \cdot K \cdot R} \cdot \left(1 - \frac{\sum \% \text{ posebni vplivi}}{100} \right),$$

kjer so:

B – bonitetne točke,

T – točke lastnosti tal,

K – točke lastnosti klime,

R – točke lastnosti reliefa in

$\sum \% \text{ posebni vplivi}$ – vsota deležev posebnih vplivov.

Točke lastnosti tal se nanašajo na karto talnih števil in so celoštevilske vrednosti na intervalu [7, 100].

Točke lastnosti klime so celoštevilske vrednosti na intervalu [1, 10], pri čemer 1 pomeni najmanj ugodno podnebje, 10 pa najbolj ugodno podnebje (preglednica 1). Točke lastnosti reliefa so prav tako celoštevilske vrednosti na intervalu [1, 10], pri čemer 1 pomeni najmanj ugoden relief, 10 pa najbolj ugoden relief (preglednica 2). Pod korenomo enačbe je torej kvečjemu vrednost 100 krat 10 krat 10 = 10.000, zato je dobljena vrednost po tej enačbi kvečjemu 100. Posebni negativni vplivi se nanašajo na skalovitost, poplavnost, sušnost, zasenčenost, odprtost in zaprtost ter vetrovnost zemljišč in so praviloma ovrednoteni s terenskim ogledom.

V naši študiji smo enačbo za izračun bonitetnih točk poenostavili kar v

$$B = \sqrt{T \cdot K \cdot R}.$$

Poleg manjkajočega dela enačbe, ki se nanaša na posebne vplive, je bila poenostavljena tudi določitev točk lastnosti klime. Upoštevani sta bili le osnovni merili, in sicer naravnogeografski tip in nadmorska višina.

Za določitev točk lastnosti klime tako nista bili upoštevani dodatni merili, ki sta povprečna letna količina padavin in povprečna letna temperatura.

Točke lastnosti klime so bile določene na podlagi podatkov o naravnogeografskem tipu ter nadmorski višini. Kot osnova je služila podrobnejša opredelitev lastnosti klime z razponom točk (Pravilnik o določanju ... 2008, 5199–5200), ki je bila nekoliko prilagojena zaradi zagotovitve definicijskega območja za celoten razpon nadmorskih višin (preglednica 1).

Preglednica 1: Točke lastnosti klime v odvisnosti od naravnogeografskega tipa in nadmorske višine zemljišča.

	nadmorska višina (m)														
	do 100	100 do 200	200 do 300	300 do 400	400 do 500	500 do 600	600 do 700	700 do 750	750 do 800	800 do 900	900 do 1000	1000 do 1100	1100 do 1200	1200 do 1500	nad 1500
Sredozemska gričevja	10	9	8												
Sredozemske planote	9	8	7	6	5	4	3	2	1						
Panonske ravnine	8	7	6												
Panonska gričevja	8		7	6	5	4	3	2	1						
Dinarska podolja in ravniki	8	7	6	5											
Dinarske planote	7			6	5	4	3	2	1						
Alpske ravnine	8		7	6	5	4	3	2							
Alpska hribovja	7			6	5	4	3	2						1	
Alpska gorovja	6				5	4	3	2						1	

Preglednica 2: Točke lastnosti reliefa v odvisnosti od nagiba zemljišča.

nagib [%]	točke lastnosti reliefa	
	interval	funkcija
0,0–6,5	9–10	$(130 - 2 \cdot \text{nagib}) / 13$
6,5–11,5	8–9	$(103 - 2 \cdot \text{nagib}) / 10$
11,5–17,5	7–8	$(119 - 2 \cdot \text{nagib}) / 12$
17,5–24,5	5,5–7	$(301 - 6 \cdot \text{nagib}) / 28$
24,5–34,5	4–5,5	$(367 - 6 \cdot \text{nagib}) / 40$
34,5–50,5	2–4	$(133 - 2 \cdot \text{nagib}) / 16$
50,5–65,0	1–2	$(159 - 2 \cdot \text{nagib}) / 29$
nad 65,0	0–1	$29 / (2 \cdot \text{nagib} - 101)$

Točke lastnosti reliefa so bile določene na podlagi nagiba zemljišča v točki. Preglednica z razponom točk (Pravilnik o določanju ... 2008, 5201) je bila predelana tako, da je definicijsko območje realno število na intervalu $[0, 10]$ in da je funkcija, ki določa točke lastnosti reliefa, povsod zvezna (preglednica 2).

Funkcije za posamezne odseke so določene kot premice, razen za zadnji odsek, kjer je funkcija določena tako, da je dosežena zveznost in odvedljivost na spoju s predhodnim odsekom. Zadnja funkcija (za nagib nad 65 %) limitira proti 0, ko nagib terena raste čez vse meje (proti navpični steni).

4 Postopek določitve bonitetnih točk

Postopek določitve bonitetnih točk, ki je bil uporabljen za izbrano poskusno območje, lahko razdelimo na pet korakov (slika 1). V 1. koraku je bil na podlagi niza podatkov za vse katastrske občine (v nadaljevanju: KO) izbranega poskusnega območja pripravljen seznam listov TTN 5, ki to območje pokrivajo. Za te liste so bili nato pridobljeni podatki DMV 5.

V 2. koraku je bil dobljen niz datotek DMV 5 »presekan« z ZKP ter s sloji dejanske rabe, talnih števil in naravnogeografskih tipov. Preseki prostorskih podatkovnih slojev z DMV 5 so bili izvedeni s funkcijami Postgis v podatkovnem strežniku PostgreSQL. Za vsako točko grida so bili poleg nadmorske višine in nagiba pridobljeni še podatki o KO-ju in parcelni številki, šifri dejanske rabe, talnem številu ter šifri naravnogeografskega tipa.

Iz vseh dobljenih podatkov so bile v 3. koraku za vsako točko DMV 5 po navedeni (poenostavljeni) enačbi določene bonitetne točke. Pri tem je bila za določitev točk lastnosti klime uporabljena preglednica 1, za določitev točk lastnosti reliefa pa preglednica 2. Dobljeni vmesni rezultat tega koraka je **digitalni model bonitetnih točk 5 krat 5 m** (v nadaljevanju: DMBT 5).

V 4. koraku je bil iz opisnih podatkov zemljiškega katastra za vse KO-je skupaj tvorjen seznam parcel izbranega poskusnega območja. Za vsako parcelo sta bili poleg KO-ja in parcelne številke zapisani tudi koordinati njenega centroida.

V 5. koraku so bile določene bonitetne točke za vsako posamezno parcelo. Za določitev bonitetnih točk parcele so bile upoštevane točke iz DMBT 5, ki so znotraj njenih meja in za katere je vrednost bonitetnih točk neničelna ter gre (glede na šifro dejanske rabe) za kmetijsko ali gozdno zemljišče. Če so bile vrednosti bonitetnih točk v vseh točkah DMBT 5 znotraj parcele enake 0, je takšna tudi vrednost bonitetnih točk za to parcelo. Sicer pa so bile bonitetne točke za parcelo določene kot aritmetična sredina vseh neničelnih bonitetnih točk znotraj parcele

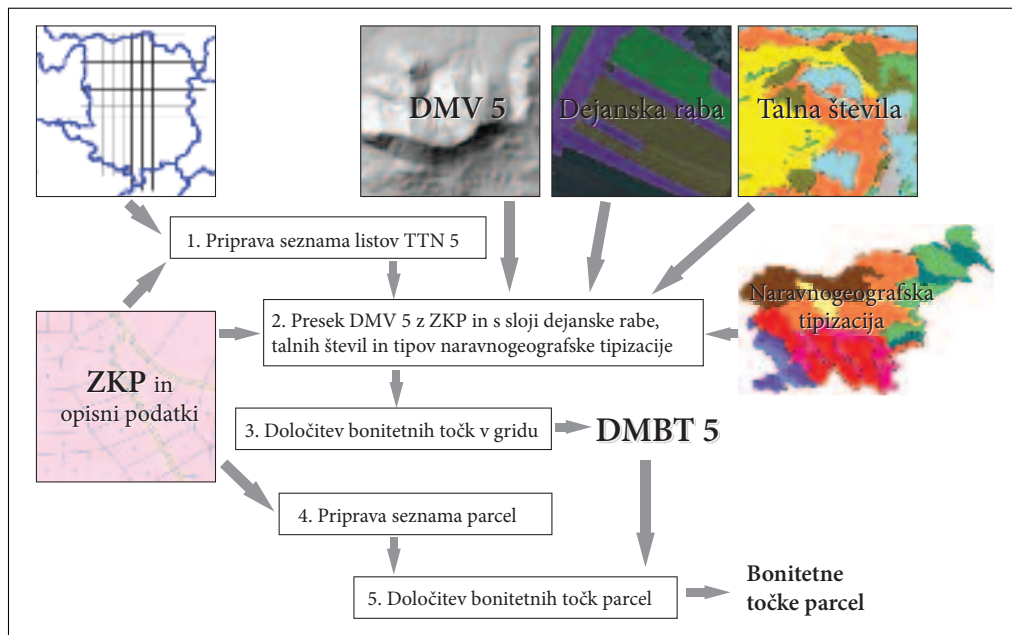
$$B = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_i.$$

Bonitetne točke parcele, znotraj katere ni bilo niti ene točke DMBT 5 (zelo redek slučaj), so bile določene na osnovi točke DMBT 5, ki je najbližja centroidu parcele. Za tvorbo DMBT 5 in nato bonitetnih točk parcel je bilo uporabljeno lastno programsko orodje, razvito v programskem jeziku C++.

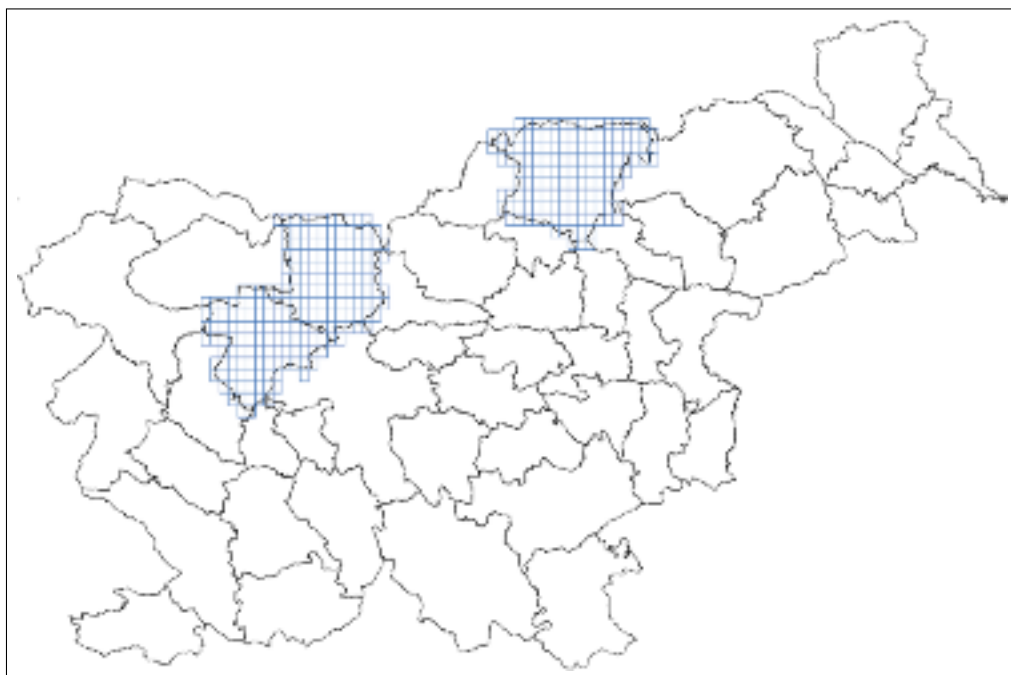
Uporabljeni **gridni pristop k bonitiranju** omogoča določitev bonitetnih točk za poljubno zemljišče in ni vezan zgolj na parcele v zemljiškem katastru. Za velika zemljišča so ustrezno upoštevani različni dejavniki, ki vplivajo na določitev bonitetnih točk na posameznih delih zemljišča z različno proizvodno sposobnostjo. Če namreč gledamo na DMBT 5 kot na model ploskve v prostoru, bi bila stroga definicija bonitetnih točk kmetijskega ali gozdnega zemljišča Z

$$B = \frac{1}{pov(Z)} \iint_{(y,x) \in Z} B(y,x) \cdot dZ,$$

kjer je $pov(Z)$ površina zemljišča Z . Takšna definicija je limita uporabljene aritmetične sredine vrednosti v točkah modela, ko gre dolžina stranice celice grida proti 0, in zagotavlja, da se ob kakršnemkoli spreminjanju meja parcele ali skupine parcel ohranja njihov skupni katastrski dohodek.



Slika 1: Pet korakov postopka določitve bonitetnih točk zemljiškokatastrskih parcel.



Slika 2: Poskusna območja bonitiranja – območja geodetskih pisarn Kranj, Slovenj Gradec in Škofja Loka z razdelitvijo na liste TTN 5.

5 Poskusni izračun bonitetnih točk in analiza rezultatov

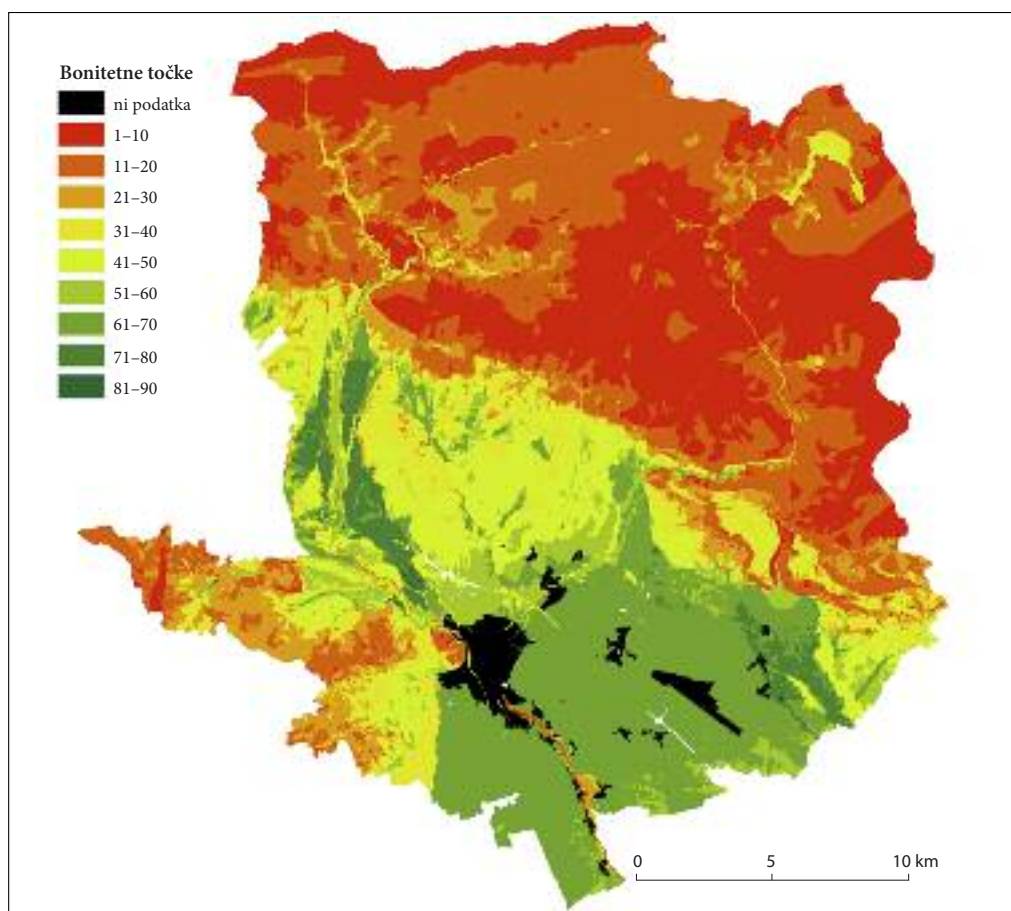
Za poskusno določitev bonitetnih točk parcel so bila s ciljem zaobjeti različne tipe tal, podnebja in reliefa izbrana tri poskusna območja, in sicer območja geodetskih pisarn Kranj, Slovenj Gradec in Škofja Loka (slika 2).

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati poskusne določitve bonitetnih točk za območje geodetske pisarne Kranj (slika 3). Območje pokriva 119 listov TTN 5 in obsega okoli 129.000 parcel.

Izvedena je bila primerjava poskusno določenih bonitetnih točk in bonitetnih točk po podatkih zemljiškega katastra, ki temeljijo na prevedbenih preglednicah. Relativna odstopanja bonitetnih točk (obstoječe – poskusne) so po razredih za poskusno območje Kranj navedena (preglednica 3) in tudi grafično prikazana (slika 4).

Parcel na kmetijskih ali gozdnih zemljiščih, za katere ni bilo mogoče določiti bonitetnih točk zaradi nepopolnega sloja talnih števil – manjkajo urbana območja, je na območju geodetske pisarne Kranj 995. Podan je prikaz detajla z lokacijami nebonitiranih parcel (slika 5).

Analiza ujemanja poskusno določenih bonitetnih točk in bonitetnih točk v zbirki zemljiškega katastra pokaže velika relativna odstopanja. Za 12,5 % vseh parcel, ki pokrivajo 22,2 % skupne površine, je

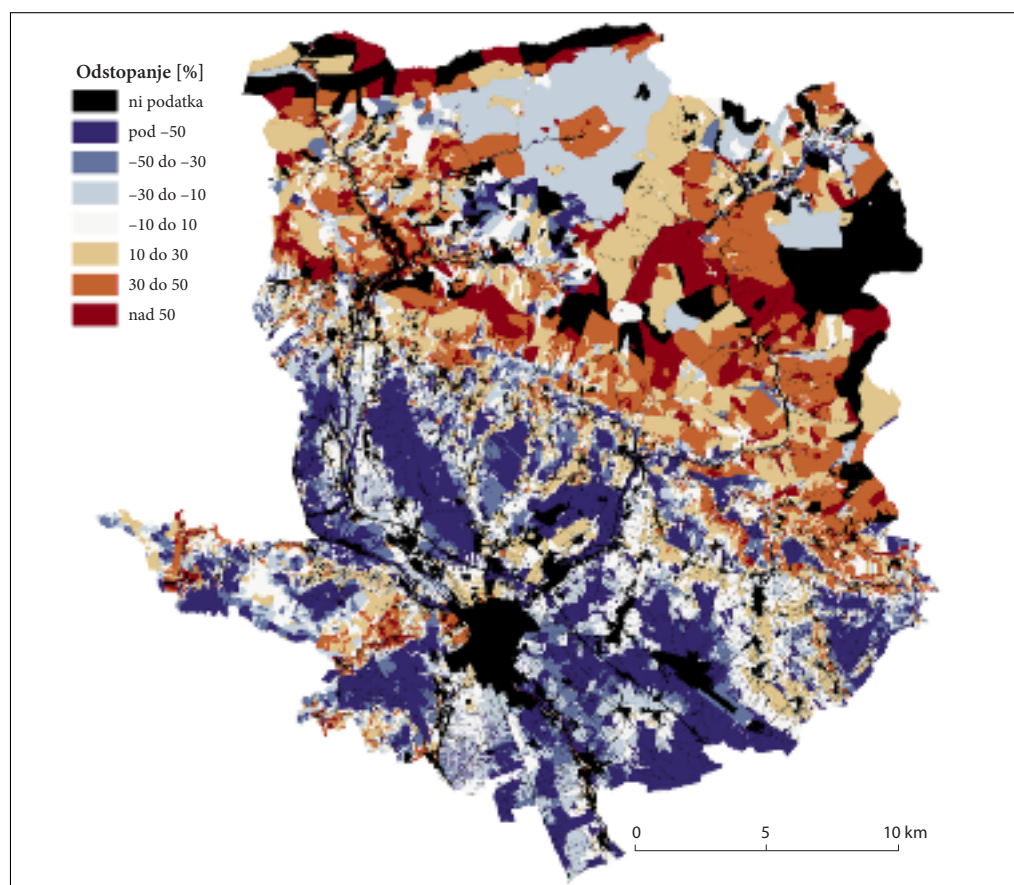


Slika 3: Poskusno območje Kranj: poskusno določene bonitetne točke parcel – prikaz po razredih.

Preglednica 3: Poskusno območje Kranj: relativna odstopanja poskusno določenih bonitetnih točk od bonitetnih točk v zbirki zemljiškega katastra.

odstopanje (%)	število parcel		površina parcel	
		(%)	(km ²)	(%)
nebonitirano*	98511	57,6	101,2	16,6
pod -50	19245	11,2	96,1	15,8
-50 do -30	6142	3,6	36,7	6,0
-30 do -10	11379	6,7	85,7	14,1
-10 do 10	16049	9,4	74,5	12,2
10 do 30	11399	6,7	97,1	16,0
30 do 50	6116	3,6	78,7	12,9
nad 50	2240	1,3	38,8	6,4

* nebonitirane parcele so tiste, pri katerih niti celotna parcela niti katerikoli njen del ne sodi med kmetijska ali gozdna zemljišča, ali pa zanje zaradi pomanjkljivih vhodnih podatkov ni bila določena poskusna boniteta



Slika 4: Poskusno območje Kranj: relativna odstopanja poskusno določenih bonitetnih točk od bonitetnih točk v zbirki zemljiškega katastra – prikaz po razredih.



Slika 5: Poskusno območje Kranj (izsek): zaradi nepopolne karte talnih števil nebonitirane parcele (rdeče) znotraj urbanih območij.

relativno odstopanje večje od 50 %. Bistveno večji je delež negativnih odstopanj (tj. ko so poskusno določene bonitetne točke previsoke), kar je verjetno tudi posledica neupoštevanja posebnih negativnih vplivov pri poskusni določitvi bonitet (preglednica 3). Vključitev podatkovnih slojev Agencije Republike Slovenije za okolje (medmrežje 3) bi omogočila upoštevanje dodatnih meril za določitev točk lastnosti klime (povprečnih letnih temperatur in povprečnih letnih padavin) ter modeliranje posebnih vplivov (poplavnih območij, povprečnih letnih hitrosti vetra ipd.).

Vendar pa razloge za (pre)velika odstopanja ne gre iskati le v neupoštevanju posebnih vplivov. Zagotoviti bi morali tudi višjo kakovost uporabljenih vhodnih podatkov, predvsem podrobnejšo karto talnih števil, dopolnjeno tudi za urbana območja (slika 5). Rezultat bi lahko izboljšali tudi z boljšim DMV-jem (višja točnost in/ali večja podrobnost) in z izboljšano položajno točnostjo podatkov zemljiškega katastra. Prispevek k izboljšavi podatkov je lahko tudi evidenca o proizvodni sposobnosti gozdnih rastišč iz gozdnogospodarskih načrtov, kjer so upoštevani tudi posebni vplivi ekspozicije, odprtosti in skalovitosti.

Za jasnejšo sliko bi preverjanje ujemanja bonitetnih točk lahko najprej izvedli na obstoječih vzorčnih parcelah, določenih po predpisani metodologiji neposredno na terenu s strani licenciranih strokovnjakov. V drugi fazi, torej po nekakšni kalibraciji postopka, bi razloge za odstopanja od obstoječih bonitetnih točk v zbirki zemljiškega katastra najbrž našli tudi v načinu določitve slednjih, ki ni temeljil neposredno na metodologiji, uporabljeni v študiji.

6 Sklep

Namen študije je bil preveriti možnosti vzdrževanja podatkov o bonitetah parcel zgolj s pomočjo razpoložljivih prostorskih podatkov. Bonitetne točke parcele v zbirki zemljiškega katastra je treba ponovno določiti ob spremembi mej parcele (npr. ob delitvi ali združevanju parcel) in ob evidentiranju zemljišča pod stavbo. Poleg tega se na daljši rok spreminjajo vhodni podatki za določitev bonitetnih točk, ki so

tudi žive zbirke (npr. območja dejanske rabe). Uporabljen je bil gridni pristop k bonitiranju, to je določitev bonitetnih točk parcel na podlagi vsakokratno tvorjenega digitalnega modela bonitetnih točk.

Rezultati predstavljenega območja (Kranj) kot tudi ostalih dveh preizkusnih območij so pokazali, da bi bilo treba za potrebe vzdrževanja podatkov o bonitetah predstavljeni način bonitiranja izboljšati. Med predlogi za nadaljnje delo sta tu najprej razširitev nabora in izboljšava kakovosti vhodnih podatkov. Eden izmed predlogov za nadaljnje delo pa gre tudi v smeri razčlenitve problematike, tako da bi predstavljeni postopek najprej dodatno »umerili« na vzorčnih parcelah, za katere so bonitetne točke določene neposredno na terenu.

7 Viri in literatura

- Berk, S., Kete, P., Pegan Žvokelj, B., Žagar, T., Fajdiga, D., in sodelavci 2011: Operativna izboljšava nepremičninskih evidenc in izboljšava lokacijske natančnosti zemljiškega katastra, Določitev bonitete zemljišč. Tehnično poročilo, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Košir, J. 2005: Vzpostavitev evidence bonitete zemljišč v zemljiškem katastru. Geodetski vestnik 49-2. Ljubljana.
- Košir, J. 2011: Priročnik za bonitiranje zemljišč. Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Medmrežje 1 (dostop do podatkov GURS): <http://e-prostor.gov.si/> (12. 4. 2011).
- Medmrežje 2 (dostop do podatkov MKO): <http://rkg.gov.si/GERK/> (12. 4. 2011).
- Medmrežje 3 (Atlas okolja ARSO): <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/> (22. 2. 2012).
- Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. Geografski zbornik 38. Ljubljana.
- Perko, D. 2007: Landscapes. Slovenia in Focus. Ljubljana.
- Pravilnik o določanju in vodenju bonitete zemljišč. Uradni list Republike Slovenije 47/2008. Ljubljana.
- Pravilnik o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Uradni list Republike Slovenije 122/2008, spr. 4/2010 in 110/2010. Ljubljana.
- Pravilnik o vzpostavitvi bonitete zemljišč. Uradni list Republike Slovenije 35/2008. Ljubljana.
- Ruprecht, J., Zupan, M., Tič, I., Šporar, M., Istenič, B., Lisec, A. 2006: Izdelava digitalne karte talnega števila. Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Tehnična dokumentacija (DASO), Digitalni model reliefa, Barvni ortofoto in infrardeči barvni ortofoto, Digitalne slike aerosnemanja. Geodetska uprava Republike Slovenije, 9. 3. 2006. Ljubljana.
- Tehnična navodila za določanje bonitete zemljišč. Geodetska uprava Republike Slovenije, št. 00705-6/2008, 1. 6. 2008. Ljubljana.
- Zakon o evidentiranju nepremičnin – ZEN. Uradni list Republike Slovenije 47/2006, spr. 65/2007 – odl. US št. U-I-464/06-13. Ljubljana.
- Zakon o kmetijstvu – Zkme-1. Uradni list Republike Slovenije 45/2008. Ljubljana.
- Zakon o ugotavljanju katastrskega dohodka – Zukd-1. Uradni list Republike Slovenije 9/2011. Ljubljana.

SPREMEMBE RABE TAL Z UPORABO ZGODOVINSKIH KART V KOZJANSKEM PARKU

Blaž Barborič

Geodetski inštitut Slovenije

blaz.barboric@gis.si

Špela Zmrzlikar

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

spela.zmrzlikar@gmail.com

dr. Sander Kovaci

Faculty of Mathematical and Physical Engineering, Department of Mathematical Engineering, Polytechnic University of Tirana, Albanija

s_kovaci@yahoo.com

UDK: 912.43:711.14(497.43)

IZVLEČEK

Spremembe rabe tal z uporabo zgodovinskih kart v Kozjanskem parku

Zgodovinske karte so z napredkom informacijske tehnologije, možnostjo skeniranja in digitalizacije postale bolj dostopne in ponujajo možnosti za obsežne prostorske analize in nadaljnje raziskave v zvezi s procesi in družbenimi pojavi, za katere nas zanima razvoj v različnih časovnih obdobjih. Zgodovinske karte ponujajo vpogled v preteklost in dajejo dragocene informacije o spremembah v pokrajini. V prispevku so predstavljene karte in spremembe rabe tal iz šestih časovnih obdobji na območju Kozjanskega parka.

KLJUČNE BESEDE

zgodovinske karte, Kozjanski park, zaščiteni območja, georeferenciranje, raba tal

ABSTRACT

Land use change of historical map series of Kozjanski park

Historical maps has become more affordable due to progress of information technology, possibility of scanning and digitalization and offer opportunities for spatial analysis and further on future research on the processes and social phenomena to which we are interested. Historical maps provide insight into past and give valuable information on changes over time. In article there are maps and land use changes from six different periods in area of Kozjanski park.

KEY WORDS

historical maps, Kozjanski park, protected areas, georeferencing, land use

1 Uvod

Kozjanski park je območje, ki se razprostira na 206 km². Opredeljen je s statusom regijskega parka in je hkrati največji regijski park v Sloveniji. Na jugu parka teče reka Voglajna, na zahodni strani reka Sotla, na vzhodni strani reka Savinja, na severu vzhodnega dela parka ležijo Posavski hribi poznani kot Kozjansko. Za območje je značilna prehodnost iz predalpskih hribovitih in z gozdovi poraščenih predelov v ravnino ob Sotli. Med ravninskim Obsoteljem in hribi vzhodnega Posavskega hribovja je vinogradniško terciarno gričevje.

Regijski park je obsežno območje značilnih ekosistemov in krajine, kjer je narava ostala neokrnjena. Človeški vpliv je prisoten, vendar je v sozvočju z naravo. Park je bil ustanovljen v letu 1981 kot Spominski park Trebče. Pokrival je osrednji in vzhodni del Kozjanskega ter Bizeljsko hribovje v južni Orlici. Iz strokovnih, sistemskih in promocijskih razlogov se je območje vse bolj uveljavljalo kot Kozjanski park. S sprejetjem Zakona o ohranjanju narave leta 1999 (Ur. l. RS 56/1999) se po 166. členu tega zakona dotedanji Spominski park Trebče šteje za regijski park z imenom Kozjanski park (medmrežje 1).

Kozjanski park se preučuje v sklopu mednarodnega projekta Transnacionalne ekološke mreže (*Transnational Ecological Networks*), ki je aktiven v večih državah Evropske unije. V okviru tega projekta nas je zanimala raba tal in spremembe, ki so se zgodile skozi različna časovna obdobja. Dandanes je dostopnih vedno več skeniranih ali ponovno natisnjenih zgodovinskih kart iz različnih virov na območju celotne Slovenije (Podobnikar, Kokalj 2007, 180).

Velik napredek je bil storjen na področju dostopnosti starih kart. Interpretacija kart je možna na pisni način ali vizualno. Najboljša in najenostavnejša vizualna interpretacija, in sicer s primerjavo dveh posnetkov, ki se prekrivata. Skenirane karte je treba transformirati v zelen koordinatni sistem, nato pa jih lahko primerjamo z različnimi podatkovnimi sloji, kot so satelitski posnetki, digitalni ortofoto, rastrski ali vektorski sloji, mestni plani in katastrski načrti (Podobnikar in Šinkovec, 2004, 67–73).

2 Metoda

Zgodovinski zemljevidi so bili izdelani z različnimi tehnikami zajemanja podatkov, upoštevajoč razvoj kartografije in geodetskih tehnik v posameznem zgodovinskem obdobju. Zelo pomemben dejavnik kakovosti končnega zemljevida je bil namen uporabe. V splošnem velja, da so izdelki vojaške kartografije bolj natančni kot izdelki kartiranja zemljišč za pobiranje davkov.

Za ugotavljanje sprememb rabe tal v različnih časovnih obdobjih so bili izbrani zgodovinski zemljevidi in podatkovni viri iz šestih časovnih obdobjih, zadnja dva sta iz 21. stoletja. Na podlagi skeniranih zemljevidov se je v programskem okolju ArcGIS izrisalo karte rabe tal. Zaradi primerjave rabe tal med različnimi časovnimi obdobji na osnovi zgodovinskih kart je bilo določeno enotno število kategorij. Vsaka karta rabe tal za posamezno časovno obdobje se je analizirala ločeno.

Odčitavanje mej med posameznimi rabami je bilo na nekaterih območjih zelo dvoumno – treba je izbrati območje, upoštevajoč stopnjo generalizacije, da posamezna raba ni zajeta preveč detajlno ali premalo natančno. Na novejših kartah je odčitavanje bolj preprosto in posamezne rabe so zajete z večjo natančnostjo, saj so tudi rabe tal na kartah določene bolj precizno. Pri tem je treba upoštevati tehnologijo in zmožnosti, ki so bile na razpolago v posameznem zgodovinskem obdobju. Karte se nanašajo na isto območje, vendar so v različnih merilih.

Glavni viri podatkov za raziskavo so bile avstrijske vojaške karte (prva in druga Jožefinska izmera) s konca 18. stoletja, topografske karte meril 1 : 75.000 in 1 : 50.000 z začetka in sredine 20. stoletja ter vektorski podatki evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč 2006 in 2009 (medmrežje 4). Glavni pomanjkljivosti pri kartah sta dve. Po eni strani so karte sistematične in vključujejo neobičajne objektne kataloge (kartografski ključ), različne oblike kartiranja in pomanjkanje projekcije ter transformacijskih parametrov. Drugi problem je prisoten na razgibanem terenu in slabši natančnosti ter



Slika 1: Prva Jožefinska izmera 1784–1787.

pomanjkanjem zajetih detajlov v goratem svetu. Na zgodovinskih kartah so območja poredko izmerjena in slabo kartirana. Karte so bolj podobne umetniški sliki kot tehničnemu izdelku. Konglomerat pomanjkljivosti in negotovosti pri tovrstnih kartah ni enostaven zalogaj, posebej če je treba iz danih podatkov sestaviti bogato podatkovno bazo v geografskih informacijskih sistemih (Podobnikar, Kokalj 2007, 183).

1800: Jožefinska vojaška izmera: Leta 1763, malo po tem ko je Avstro-Ogrska monarhija izgubila vojno proti Prusiji, je cesarica Marija Terezija dala ukaz za izvedbo vojaške topografije po celotni monarhiji. Njen sin, cesar Josip I, je podprl reformo in končal prvo izmero leta 1787 v zelo kratkem času. Izvedena

izmera pokriva celotno območje Slovenije. Izmera je bila narejena brez natančnih geodetskih instrumentov in brez uporabe projekcije. Natačnost izmere se razlikuje glede na značilnosti terena, časovno obdobje in kakovost izmere. Zaradi pomanjkljive kakovosti izmere kart v prvi vojaški izmeri je v 19. stoletju sledila 2. vojaška izmera, ki jo je naročil cesar Franc II in velja za bolj natančno. Kasneje se je izvedla tudi 3. vojaška izmera. Obe, 2. in 3. izmera, veljata za relativno natančni, parametre transformacije v obeh izmerah bi lahko uporabili za večje območje. Karte so shranjene v arhivu na Dunaju. Lastnosti kart vojaške izmere (Podobnikar s sodelavci 2007, 183):

- obdobje od 1763 do 1787,
- območje zajema je celotna Avstro-Ogrska monarhija,
- Casini-Soldnerjeva ekvidistantna kartografska projekcija,
- položajni pogreški so večji od 250 m, v goratih predelih še večji,
- kartografija je lepa, bolj umetniška kot natančna,
- raba tal je ponekod težja za interpretacijo, razen linijskih objektov, kot so reke, ceste, ter površin, kot so pozidana območja in gozdovi.

1943: Rohitsch und Drachenburg 1 : 75.000:

- obdobje zajema od 1914 do 1943,
- pokriva širše območje Rogatca in Kozjega,
- položajni pogreški so večji od 250 m,
- raba tal je ponekod težja za interpretacijo, razen linijskih objektov, kot so reke, ceste, ter površin, kot so pozidana območja in gozdovi,
- kontrolne točke, uporabljene za georeferenciranje, so cerkveni zvoniki, nekateri značilni mostovi, stolpi ali redki razpoznavni vrhovi (pozorni smo bili na morebitne spremembe pokrajine in treba se je zavedati, da najvišji vrhovi v Alpah v tistem času še niso bili izmerjeni in so bila območja še neraziskana).

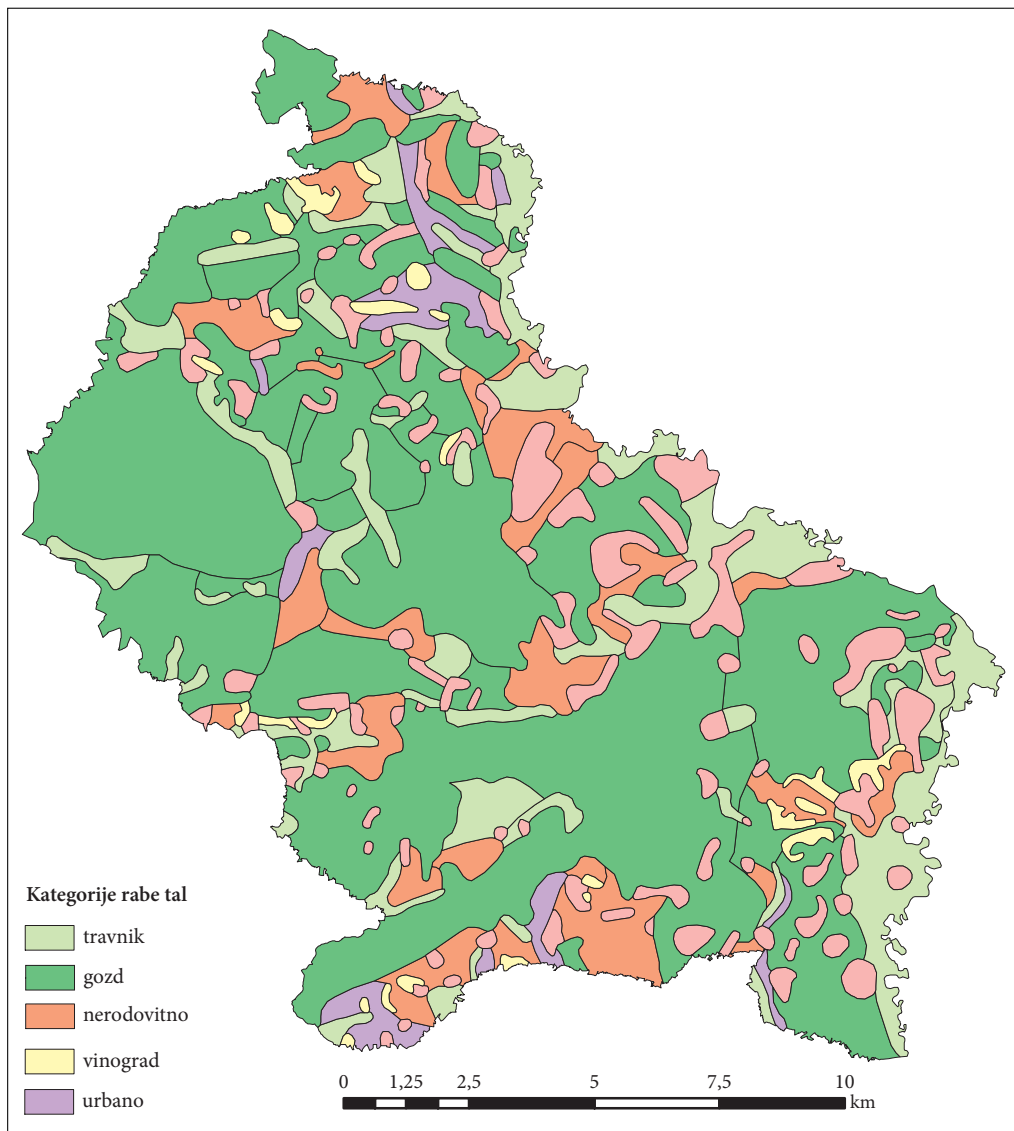
1955 Jugoslovanske karte 1 : 25.000:

- obdobje zajema je 1934,
- območje zajema je vzhodno od rapalske meje,
- Gauss-Krügerjeva projekcija, izhodiščni meridian Pariz,
- pozicijski pogrešek: 7 m (teoretično 5 m),
- manjša natančnost v goratih predelih,
- karte so georeferencirane v ciljnem koordinatnem sistemu glede na tiskano koordinatno mrežo (Podobnikar, Kokalj 2007, 184–185).

Evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč 2006 in 2009: Podatke o dejanski rabi ministrstvo (nekdanje Ministrstvo za kmetijstvo gozdarstvo in prehrano) zajema s pomočjo računalniško podprte foto interpretacije, pri čemer se kot podlaga uporablja ortofoto. Za določanje dejanske rabe se uporablja interpretacijski ključ, ki vsebuje šifrant vrst dejanske rabe, navodila za zajem podatkov, opise posameznih vrst dejanske rabe in najmanjše površine zajema posameznih vrst dejanske rabe (medmrežje 2). Evidenca vsebuje 25 vrst dejanske rabe, ki smo jih zaradi primerjave z ostalimi podatkovnimi viri združili v sedem razredov.

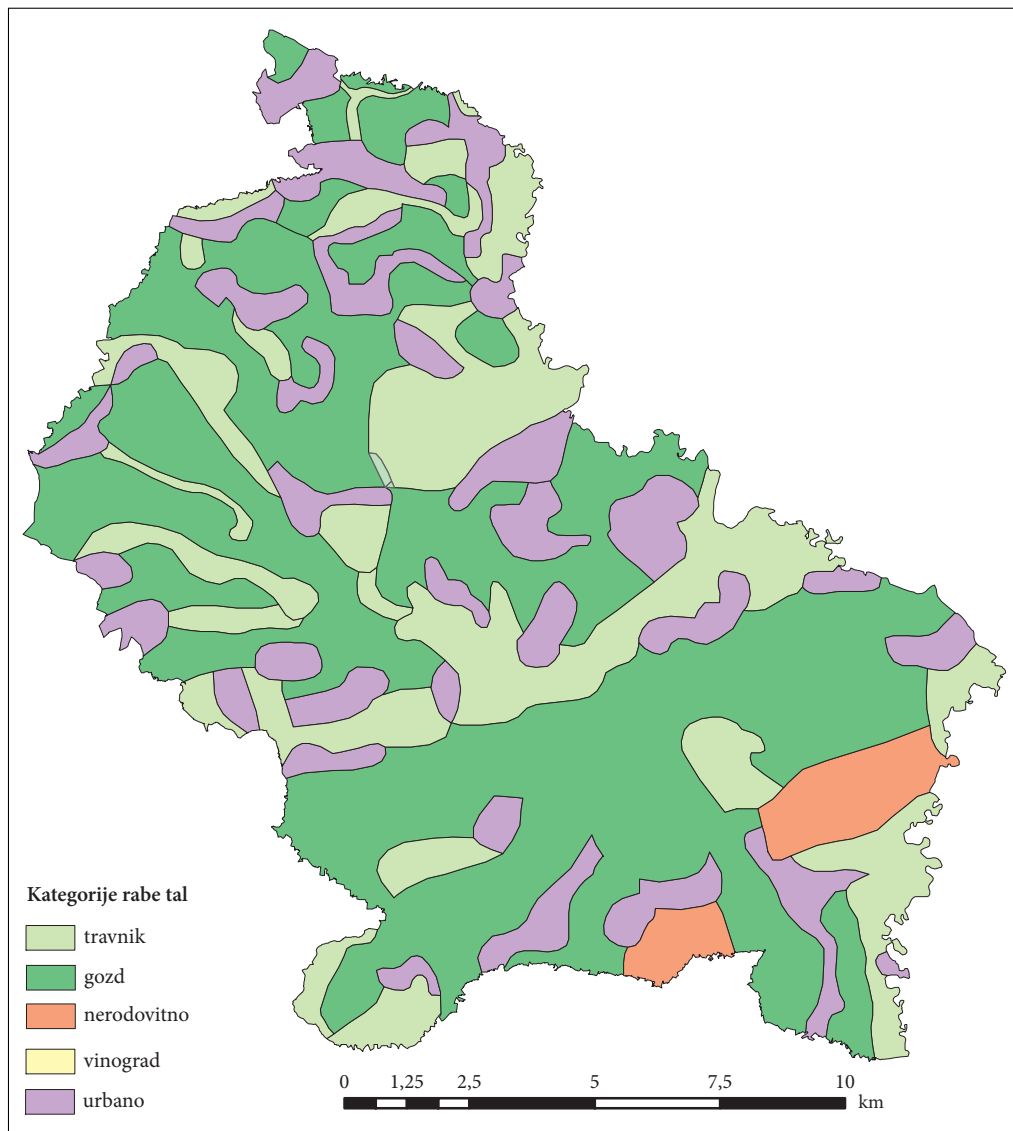
Slovenska podatkovna baza v merilu 1 : 5.000 in 1 : 50.000: Topografski podatki v merilu 1 : 5000, digitalni ortofoti in državne topografske karte merila 1 : 50.000 so bili uporabljene za georeferenciranje zgodovinskih kart. Vir zgodovinskih kart je kartografski oddelek Narodne in univerzitetne knjižnice v Ljubljani.

Georeferenciranje zgodovinskih kart: Zgodovinske karte so bile proizvedene v različnih projekcijah, koordinatnih sistemih in merilih. Metrična kvaliteta ni homogena in kartografsko so karte neenake. Metode generalizacije so nepoznane. Nekatere karte imajo označene koordinate na robovih koordinatnega sistema (Podobnikar, Kokalj 2007, 185). Princip georeferenciranja je zasnovan na iskanju dveh identičnih točk, ki se morata lokacijsko čim bolj ujemati, če jih poiščemo na starem zemljevidu in novem sloju, ki ga je potrebno georeferencirati. Identične točke je potrebno izbrati zelo pazljivo. Na starih zemljevidih je najbolje izbrati točke, ki so bile triangulirane, na primer cerkve ali stolpi. Za bolj zanesljive točke se prav tako štejejo mostovi, rečni pritoki, križišča, gradovi, meandri. Karakteristične točke je včasih mogoče definirati tudi glede na toponime, ki so v različnih jezikih uporabljenih na zemljevidih.



Slika 2: Raba tal iz let 1784–1787 (NUK Ljubljana).

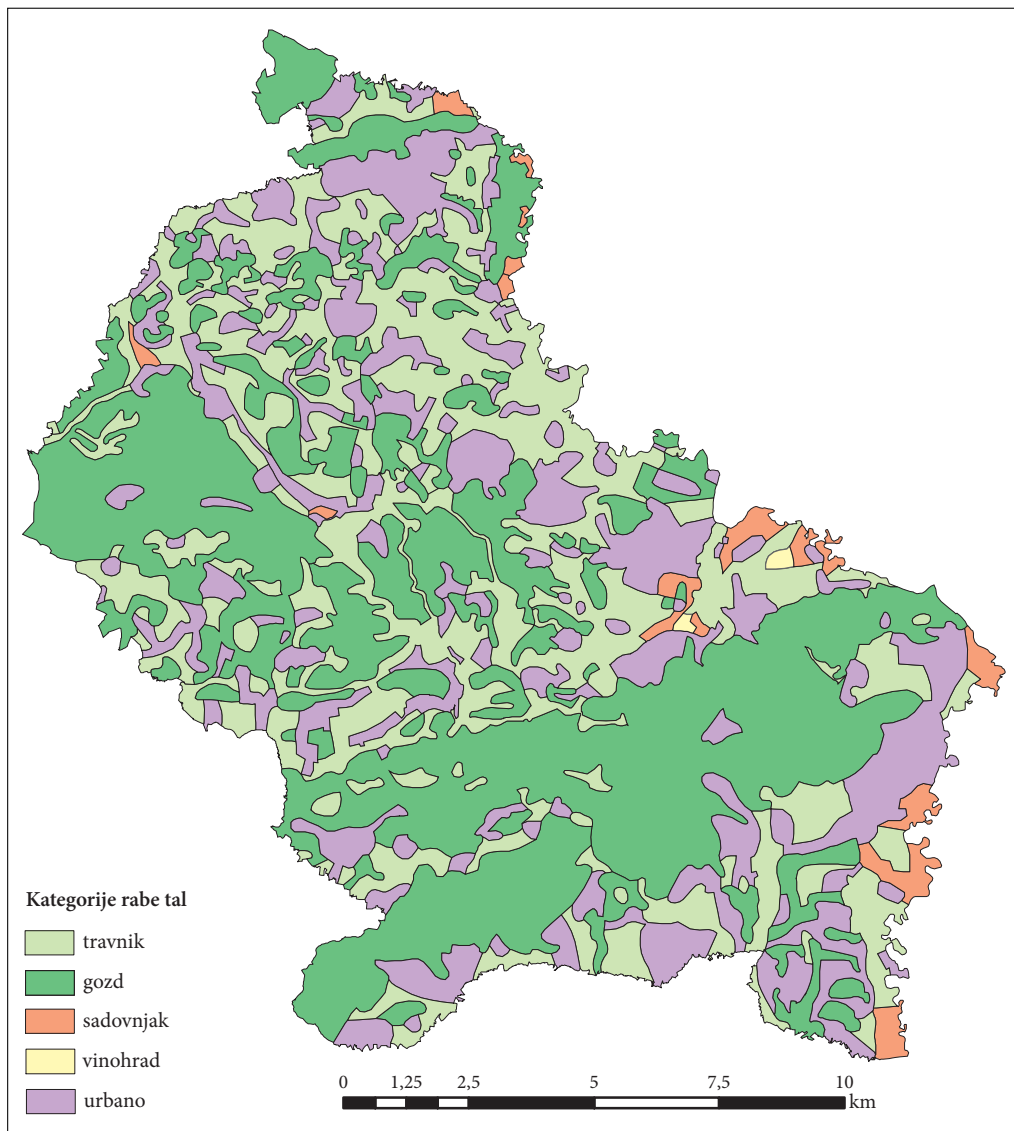
Na starih zemljevidih je dobro poiskati tudi prepoznavne detajle kot identične točke na celotnem območju karte, saj so lokalne distorzije zelo velike. To pa je včasih težavno, saj nekaterim območjem primanjkuje oprijemljivih detajlov. Večino detajlov na teh kartah je bilo posnetih s prostim očesom. Kvaliteta kart je odvisna od izkušenj kartografa in njegovega semantičnega dojemanja. Za preoblikovanje tovrstne karte je potrebno prepoznati stil kartografa in kartografskih elementov, vključno s stopnjo generalizacije. (Podobnikar, Kokalj 2007; 186; Petek, Fridl 2004). Referenčne identične točke so bile izbrane na kartah podobnega merila. Ko je izbranih dovolj kontrolnih točk, se karto lahko transformira v ciljni koordinatni sistem.



Slika 3: Raba tal iz let 1869–1887 (NUK Ljubljana).

3 Analiza rabe tal

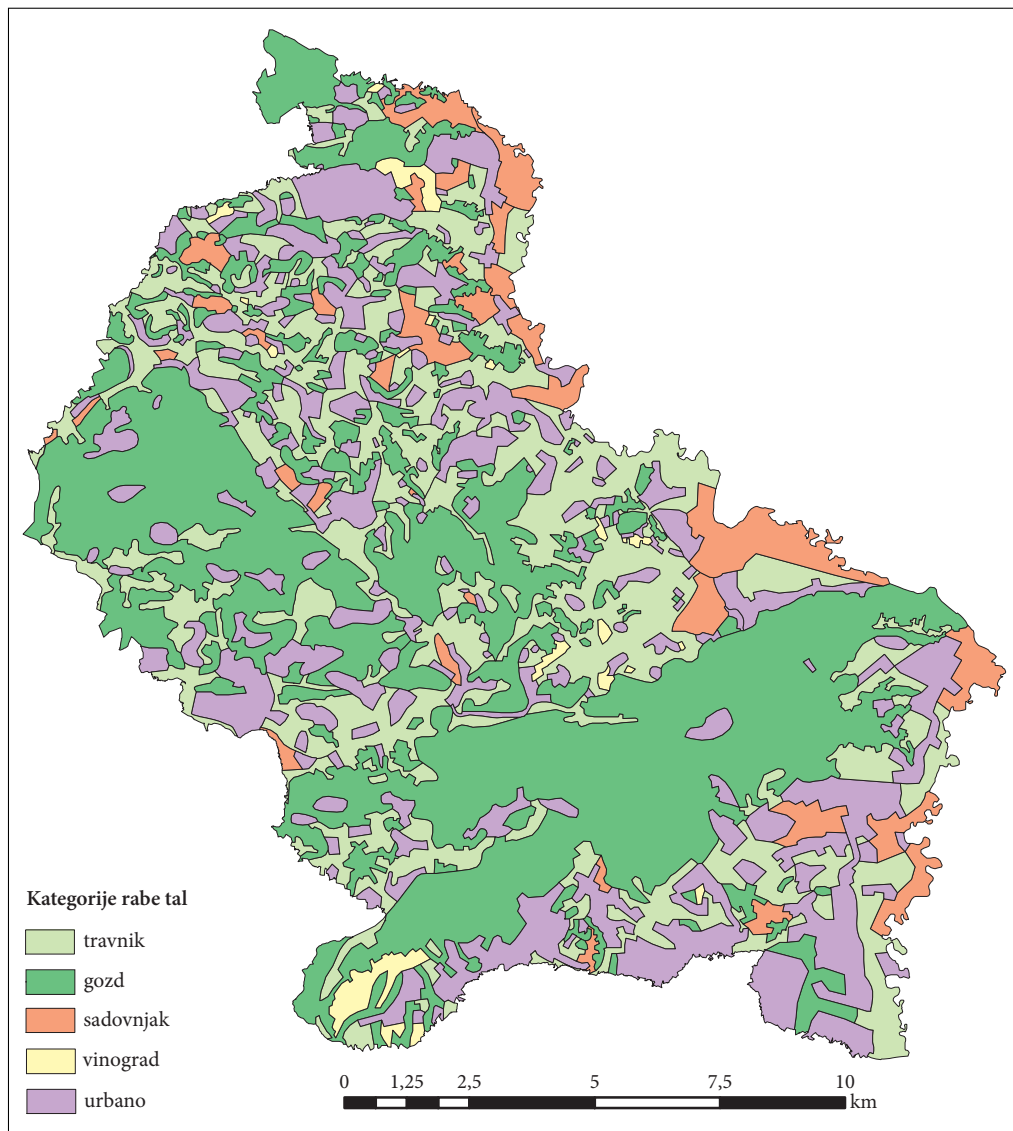
Potem ko so bile karte pravilno locirane in transformirane, smo analizirali rabo tal. Izbrali in analizirali smo skupne kategorije rabe tal, ki so značilne za Kozjanski park, in sicer: travnike, vinograde, sadovnjake, gozdove in urbana območja. Zaradi različnih meril in raznolikosti podatkovnih virov z vidika rabe smo poleg skupnih kategorij rabe tal določili tudi kategorije, ki smo jih lahko interpretirali in so bile značilne za posamezen podatkovni vir. Dodatne kategorije smo določili pri interpretaciji karte



Slika 4: Raba tal iz leta 1943 (NUK Ljubljana).

Prve Jožefinske izmere, podatkovnem viru dejanske rabe kmetijskih zemljišč 2006 in 2009. Pri karti Prve Jožefinske izmere je bila zaradi težav z interpretacijo izpuščena kategorija sadovnjak, Pri karti Druge Jožefinske izmere pa kategorija vinograd.

Izdelanih je bilo 6 tematskih kart rabe tal za posamezna zgodovinska obdobja. Za vsako karto v zgodovinskem obdobju se je za posamezno kategorijo rabe tal izračunala površina, na osnovi katere je bila izdelana primerjava sprememb v površini rabe tal skozi čas.

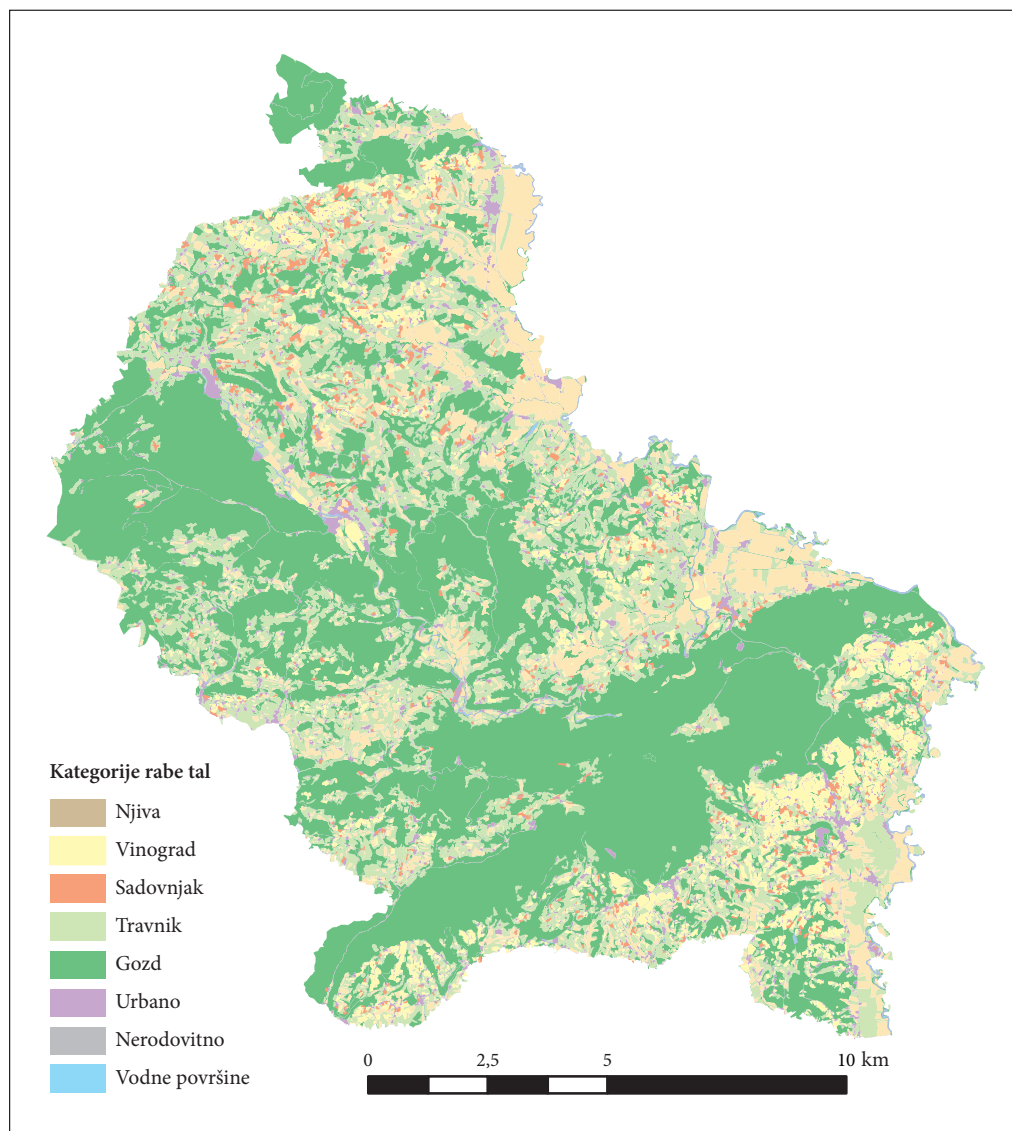


Slika 5: Raba tal iz leta 1955 (NUK Ljubljana).

4 Raba tal skozi čas

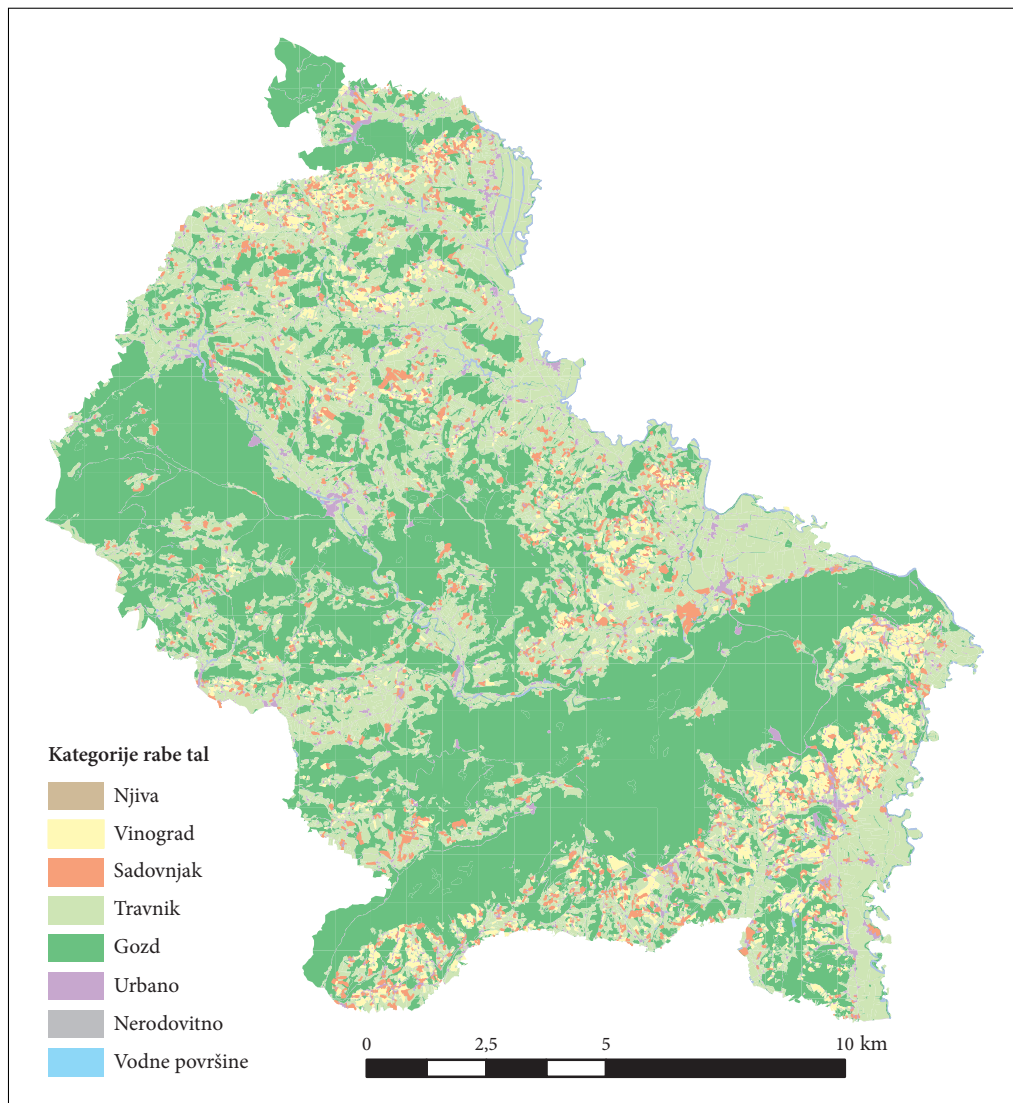
Opaziti je razlike v površini rabe tal skozi posamezna časovna obdobja. Vidimo lahko trende naraščanja in padanja površin posameznih kategorij.

Površine travnikov od 18. stoletja do danes naraščajo, le v obdobju po 2. svetovni vojni sledi rahel padec. Površine območij z vinogradi naraščajo, razen v zadnjih dveh obdobjih. Površine gozdov se sprva zmanjšujejo, v obdobju po 2. svetovni vojni pa do danes je viden porast gozdnih površin. Urbane



Slika 6: Raba tal iz leta 2006 (Medmrežje 4).

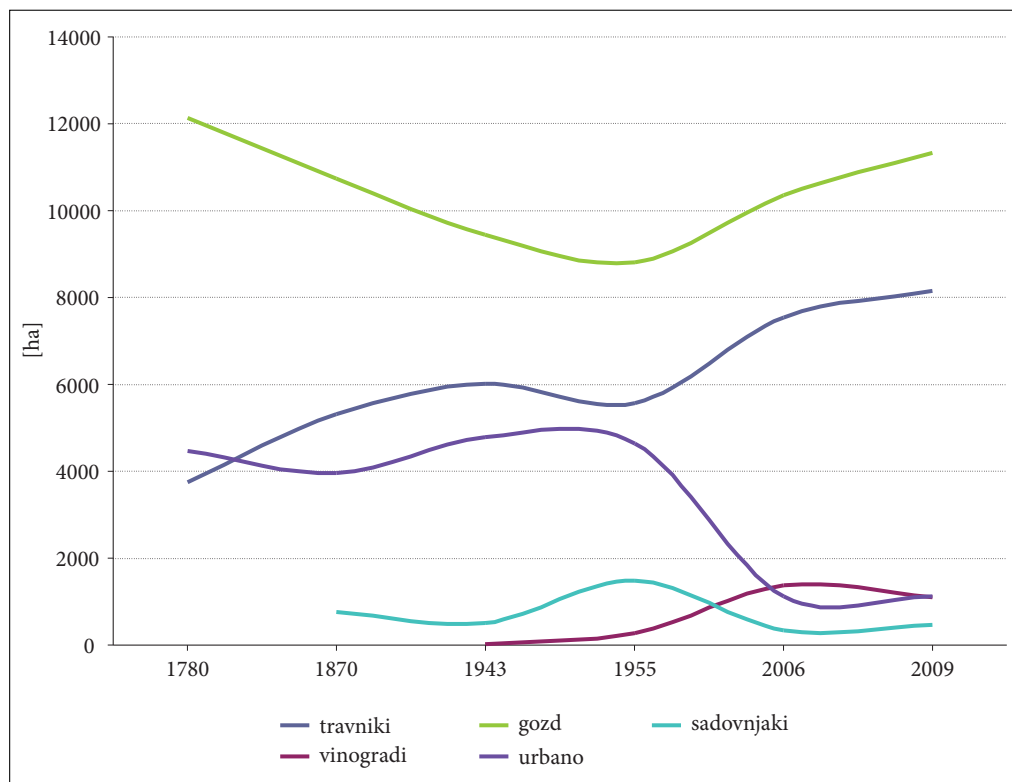
površine, ki so do leta 1955 skoraj nespremenjene, se po 2. svetovni vojni znatno zmanjšujejo. V zadnjem času je zaznati rahlo povečanje. Dinamika spreminjanja urbanih in gozdnih površin Kozjanskega parka sovпада z družbeno-demografskimi procesi tega območja. Največji padec števila prebivalcev in odseljevanje je zaslediti po 2. svetovni vojni. Ljudje so iskali delo v novonastalih tovarnah v mestih. Kozjansko je začelo v razvoju izrazito zaostajati, postalo je sinonim za manj razvito pokrajino. Glavni problemi se kažejo v zmanjševanju števila prebivalcev in njihovem staranju, opuščanju kmetijske pri-



Slika 7: Raba tal iz leta 2009 (Medmrežje 4).

delave in propadanju kulturne pokrajine (Polšak 2006, 2). Opuščanje kmetijske pridelave vpliva na povečano pogozdovanje in ozelenjevanje (Sajovic 2005).

Pri analizah sprememb površin rabe tal z uporabo zgodovinskih kart je treba upoštevati tematsko raznolikost in različna merila kartografskih virov. Novejši kartografski viri večjih meril omogočajo natančnejše določanje površin kategorij rab tal kot zgodovinske karte manjših meril. Uporabljena metodologija lepo prikaže dinamiko spreminjanja posameznih kategorij rab tal skozi časovna obdobja, medtem ko je zaradi raznolikosti kartografskih virov manj primerna za natančen prikaz velikosti sprememb površin kategorij rab tal skozi časovna obdobja. Podatki iz različnih kartografskih virov pomenijo izziv za njihovo medsebojno primerjavo in interpretacijo.



Slika 8: Kategorije rabe tal skozi čas.

5 Sklep

Za interpretacijo različnih vidikov prostorskih pojavov v različnih časovnih obdobjih je treba razpoložljive podatke georeferencirati v isti koordinatni sistem. Zgodovinske karte so dragocena informacija o preteklosti.

Na žalost so karte tematsko različne in nepredvidljive kakovosti ter tako težko primerljive s sodobnimi kartografskimi in ostalimi podatkovnimi viri. Če je kakovost podatkov dobro poznana, je na voljo še veliko možnosti za nadaljnje analize. Opravljene analize lahko pomagajo pri razlikovanju procesov in področij, ki potrebujejo posebno pozornost in jih je treba upoštevati pri načrtovanju upravljanja s prostorom. Uporaba zgodovinskih podatkovnih virov pri analizi rabe tal lahko pomeni tehtno argumentacijo proti degradaciji prostora.

6 Viri in literatura

1. Jožefinska izmera, 1 : 28 800. Narodna in univerzitetna knjižnica. Ljubljana.
 3. Jožefinska izmera, 1 : 28 800. Narodna in univerzitetna knjižnica. Ljubljana.
- Medmrežje 1: <http://kozjanski-park.si> (5. 3. 2012).
 Medmrežje 2: <http://giam.zrc-sazu.si> (22. 2. 2011).

- Medmrežje 3: http://rkg.gov.si/GERK/documents/RABA_neUPB_20110101.pdf (5. 3. 2012).
- Medmrežje 4: <http://rkg.gov.si/GERK> (5. 3. 2012).
- Petek, F., Fridl, J. 2004: Pretvarjanje listov zemljiško-katastrskega načrta v Gauss-Krügerjev koordinatni sistem. Geografski vestnik 76-2. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Kokalj, Ž. 2007: Triglav National Park Historical Maps Analysis. Proceedings of 5th mountain cartography workshop. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Šinkovec, I. 2004: Ljubljana – mutual analyses of the georeferenced old maps. Javno dobro: identifikacija, upotreba, upravljanje, dizajn: zbornik radova.
- Polšak, A. 2006: Razvojni problemi kmetijstva na Kozjanskem s posebnim ozirom na socialnoekonomske razmere. Doktorsko delo, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Rohitsch und Drachenburg, 1 : 75 000. Narodna in univerzitetna knjižnica. Ljubljana.
- Sajovic, A. 2005: Pomen regijskega parka za sonaraven razvoj Kozjanskega. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana.
- Topografska karta, 1 : 50 000. Narodna in univerzitetna knjižnica. Ljubljana.

ANALIZA POLOŽAJA NASELIJ NA PODLAGI ZGODOVINSKEGA KARTOGRAFSKEGA GRADIVA IN SPREMENLJIVK OKOLJA ZA GORIČKO IN RAVENSKO

Katja Milost

katjamilost@gmail.com

dr. Tomaž Podobnikar

Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstveno raziskovalni center slovenske akademije znanosti in umetnosti in

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

tp@zrc-sazu.si

UDK: 91:659.2:004(497.4Prekmurje)

911.372.2(497.4Prekmurje)

IZVLEČEK

Analiza položaja naselij na podlagi zgodovinskega kartografskega gradiva in spremenljivk okolja za Goričko in Ravensko

V zadnjih desetletjih je opaziti veliko razpršene novogradnje, ki upoštevajo drugačne okoljske dejavnike kot starejša naselja in segajo na manj primerna območja za pozidavo. Raziskava obravnava položaje naselij v Prekmurju in temelji na analizah digitalnega modela reliefa ter podatkov poplavnega območja in slojev rabe tal iz obdobj 1850–1890, 1890–1940, 1940–1971 in 1971–2009. Podatke rabe tal smo zajeli iz zgodovinskega kartografskega gradiva. Rezultati enostavnih analiz časovnih vrst (opisni model) so pokazali spremembe rabe tal in leg naselij glede na naklon, ukrivljenost in ekspozicijo površja, poplavno območje in vlažnost.

KLJUČNE BESEDE

GIS, prostorska analiza, položaj naselij, Goričko, Ravensko

ABSTRACT

Analysis of location of settlements using historical map datasets and environmental variables for the case study area of Goričko and Ravensko

On the contrary to the older settlements many scattered buildings which ranging into less suitable areas have been built in the recent decades. The research study deals with the position of settlements in Prekmurje and is based on the terrain model (DTM) analysis, as well as on the datasets of floodplain areas and layers of land use in the periods 1850–1890, 1890–1940, 1940–1971 and 1971–2009. The results of the simple time series analysis (descriptive model) showed changes in land use and urban sites as the slope, curvature and aspect, flood area and soil moisture.

KEY WORDS

GIS, spatial analysis, location of settlements, Goričko, Ravensko

1 Uvod

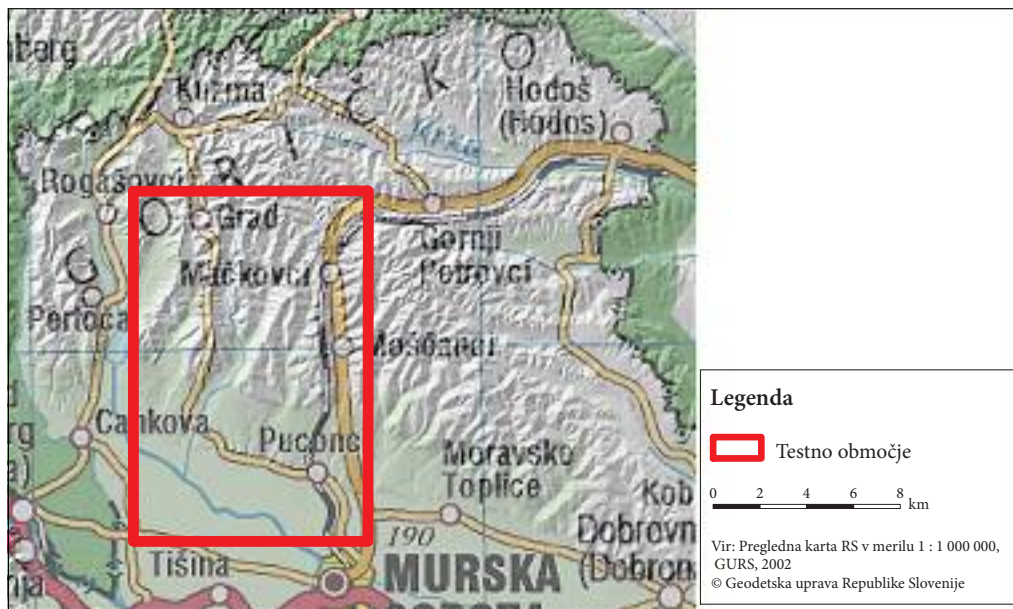
Obseg individualne stanovanjske gradnje, predvsem pa način njenega umeščanja v prostor, je povzročil korenite spremembe v podobi in strukturi naselij ter pejsazu pokrajine (Drozg 1995, 13). Novejša stanovanjska gradnja večinoma ne upošteva avtohtone zasnove in naravnih determinant, ki so določale položaj in zasnovo nekdanjih agrarnih naselij, na primer naklon zemljišča, izpostavljenost visoki podtalnici ali poplavam, varovanje kakovostnih kmetijskih zemljišč, temveč se, v nasprotju s tem, širi jo na površine, ki so nekoč veljale za nezazidljive. Marsikatero naselje je tako prestopilo »naravne meje«, s čimer se je izgubil ali vsaj zabilisal vtis preišljenosti prvotne lokacije. Poleg pozidave kmetijskih zemljišč je pozidava v zadnjih desetletjih bolj usmerjena na zemljišča, ki so manj ugodna za pozidavo, na primer bolj strma, bolj mokra, bolj plazovita in od voda ogrožena (Marušič 2010). Gradnja na manj ugodnih zemljiščih za pozidavo pogosto povečuje tveganje za naravne nesreče (Natek 2007).

Analiza položaja naselij je bila izvedena s pomočjo GIS-ov, saj ti omogočajo izdelavo in analizo prostorskih podatkovnih slojev, poizvedovanja, ter druga opravila, ki predstavljajo temelj za tovrstno analizo.

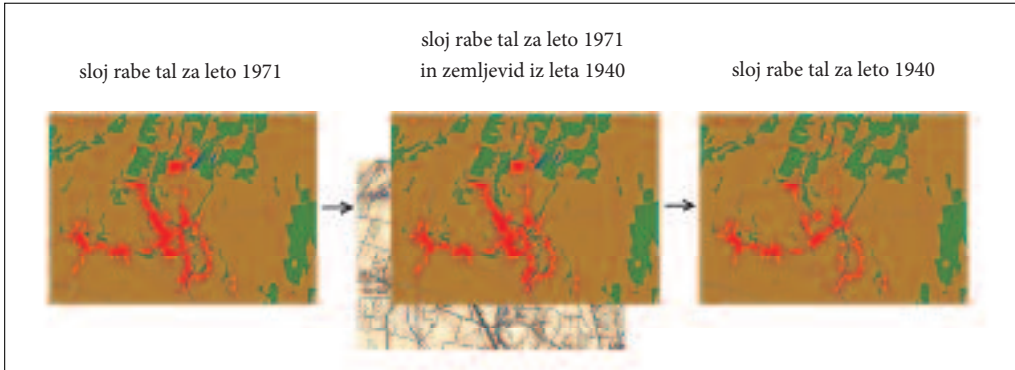
2 Metode

Analiza je potekala na testnem območju pravokotne oblike s stranicama 10 krat 15 km in središčno koordinato v državnem koordinatnem sistemu D48/GK 585.010, 178.530. Območje zajema del Goriškega in Ravenskega (slika 1).

Izdelani so bili naslednji osnovni podatkovni sloji, ki odgovarjajo kartiranju (abstrakciji) v merilu 1 : 25.000: raba tal za leta 1850, 1890, 1940 in 1971; naselij za ista leta in leto 2009; novogradnje v obdobjih 1850–1890, 1890–1940, 1940–1971, 1971–2009; sloj voda za leto 1850; sloj plastnic, naklona, vlažnost tal, vetrovnosti, ukrivljenosti in ekspozicije površja.



Slika 1: Testno območje.



Slika 2: Postopek vektorizacije odzadnjega urejanja.

Metodologija pretvorbe starih kart v sloje rabe tal v GIS-ih temelji na postopkih, opisanih v publikacijah Podobnikar (2009, 2011). Sloj rabe tal za leto 2009 je bil preklasificiran (medmrežje 1), drugi sloji rabe tal pa so bili pripravljene po postopku vektorskega zajema po načelih odzadnjega urejanja (*backward editing*) (Podobnikar 2011), kar pomeni, da so bili sloji rabe tal pripravljene v vrstnem redu od najnovejšega (2009) do najstarejšega (1850) (slika 2).

V ta namen so bili uporabljeni primarni zemljevidi iz let: 1850, 1890, 1940 in 1971 ter sekundarni zemljevidi. Slednji so služili za pomoč pri vektorizaciji, ki je temeljila na uporabi primarnih zemljevidov. S postopkom preklasifikacije vseh slojev rabe tal so bili izdelani sloji naselij za ta ista leta. Sloj vod za leto 1850 je bil izdelan z vektorizacijo voda na zemljevidu iz istega leta. Sloji plastnic, naklona, vlažnosti tal, vetrovnosti, ukrivljenosti in ekspozicije površja so bili izdelani iz DMR-ja ločljivosti 12,5 m.

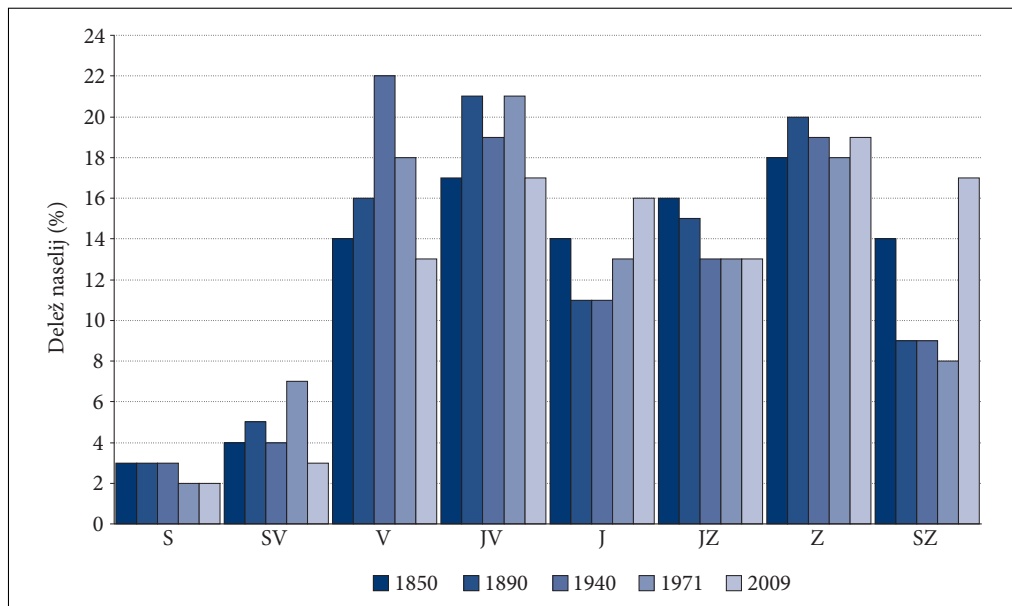
Izdelani so bili štiri opisni prostorski modeli: induktivna in deduktivna modela posebej za Goričko in Ravensko. V splošnem temelji induktivni model na podatkih posameznega območja in se ga uporablja, kadar ne poznamo splošnih značilnosti območja. Deduktivni model temelji na neki predpostavki, ki je splošno znana ali jo postavimo sami, preverimo pa jo na prostorskih podatkih (Dalla Bona 1994, 1–6). Z modelom v GIS-ih poenostavljeno predstavimo del realnega sveta ali njegovih sistemov, ki obdrži dovolj njegovih lastnosti za nadaljnje analize (Ford 1999, 3–10).

Vhodni podatkovni sloji modelov so bili medsebojno primerljani s kapa-testom neodvisnosti, za kar smo razvili orodje, saj je rezultat zaradi podobnosti slojev lahko pristranski. Poleg tega smo razvili orodje za izračun prekrivanja posameznih podatkovnih slojev, ki poda prekrivanje zelenih kategorij v odstotkih. Prav tako smo razvili orodje, ki smo ga poimenovali orodje za iskanje območij. To omogoča iskanje območij po zelenih kriterijih. Vsa tri razvita orodja delujejo v programskem paketu ArcMap.

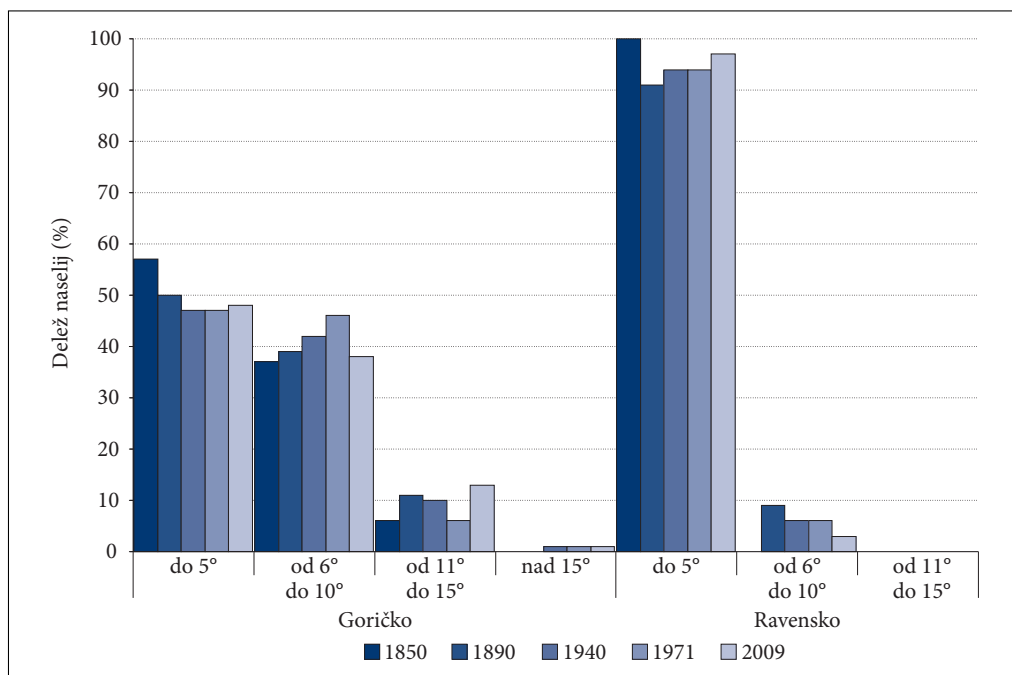
3 Rezultati

V raziskavi smo na izvedenih podatkovnih slojih izdelali analizo lege naselij iz starih kart, ki jo predstavljamo v nadaljevanju. Rezultate smo uporabili v modelih, ki nakazujejo upoštevanje vzorcev pri gradnji v preteklosti.

Izveden sloj ekspozicije površja: Analizo ekspozicije površja smo izvedli le na območju Goričkega, saj se je na območju Ravenskega izkazala za nesmiselno. Ekspozicije površja so prisotne na vseh glavnih osmih smereh neba (slika 3). Iz prekrivanja slojev naselij s slojem ekspozicije površja smo ugotovili, da je leta 1850 največ naselij na zahodni (18 %) ekspoziciji, ki je hkrati najbolj zastopana (18 %). Leta 1850 je bilo najmanj naselij na severovzhodnih (4 %) in severnih (3 %) legah. V vseh obravnavanih obdobjih je najmanjši delež novogradenj na severnih in severovzhodnih legah, ter največji na



Slika 3: Delež naselij iz leta 1850 in novograđenj v letih 1890, 1940, 1971 in 2009 na Goričkem in Ravenskem glede na ekspozicijo površja.



Slika 4: Delež naselij iz leta 1850 in novograđenj v letih 1890, 1940, 1971 in 2009 na Goričkem in Ravenskem glede na naklon površja.

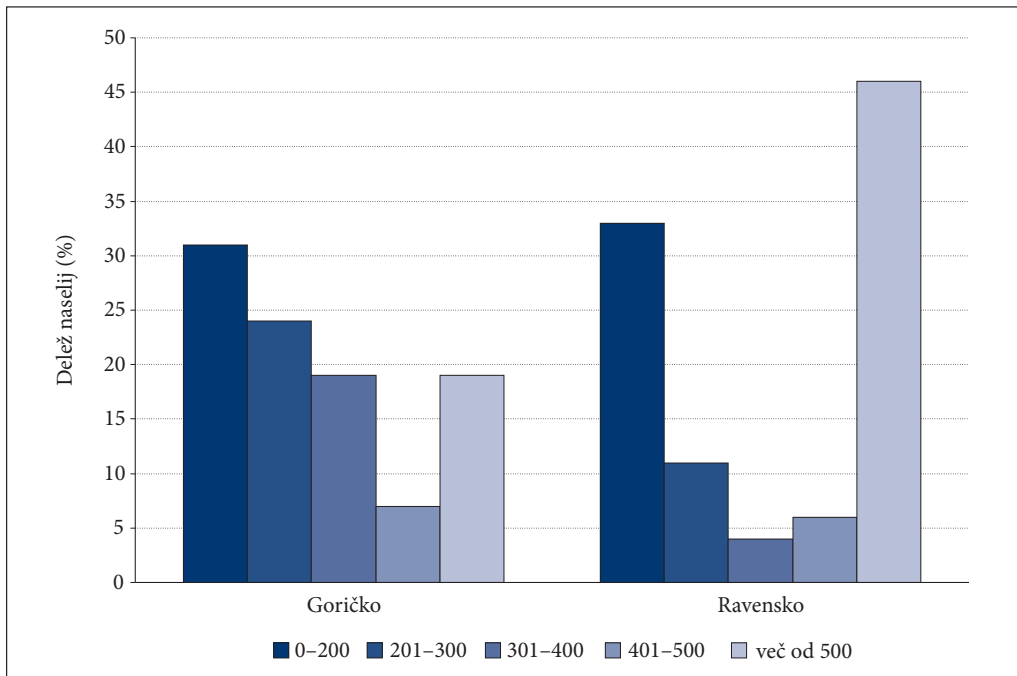
vzhodnih, jugovzhodnih in zahodnih legah. Na severozahodnih legah od leta 1890 do leta 1971 ni večjih sprememb v deležu novogradenj, izstopa pa leto 2009, kjer je bistveno večji delež novogradenj (17 %) glede na druga obdobja (8–14 %).

Izveden sloj naklona površja: Območje Goriškega je razgibano gričevje, tudi z nakloni večjimi od 15°. Na Ravenskem prevladuje površje z naklonom pod 5°, površje z večjim naklonom (6–10°) je le na vznožju Goriškega.

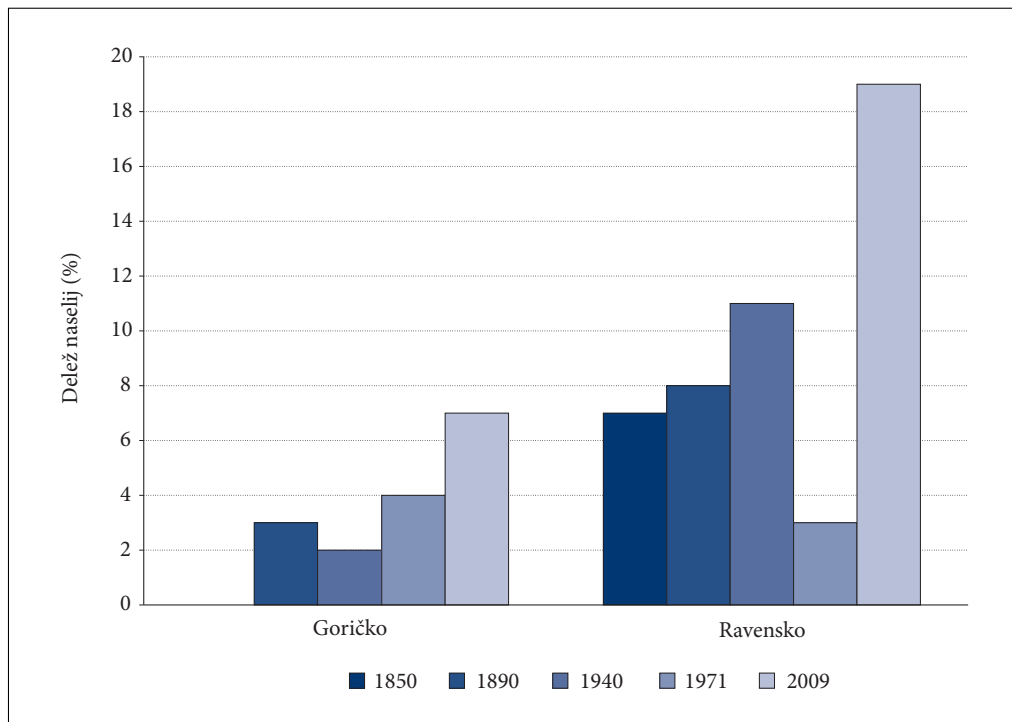
Leta 1850 je bilo na Goriškem 57 % naselij na naklonu do vključno 5° in 94 % do vključno 10° (slika 4). Na površju z do naklona 5° je bilo največ novogradenj v obdobju 1940–1971, najmanj pa v obdobju 1980–1940 in 1971–2009. Na pobočju z naklonom 11–15° so novogradnje v vseh obdobjih, od katerih ima največji delež obdobje 1971–2009. V obdobju od 1890 do 2009 se novogradnje (1 %) pojavljajo tudi na naklonih večjih od 15°.

Na Ravenskem (slika 4) so bila 1850 leta vsa naselja na ravnini z naklonom do 5°. Novogradnje na naklonu 6–10° se pojavljajo od leta 1850 do 2009. V obdobju 1850–1890 je bilo takšnih 9%, v obdobju 1971–2009 pa 3%.

Izveden sloj oddaljenosti od vodotokov: Sloj oddaljenosti od vode je bil izdelan v ArcMap-u z orodjem *Buffer analysis*. Rezultat analize oddaljenosti naselij od vodotokov je pokazal povezavo med legami naselij in oddaljenostjo od vode, iz česar lahko sklepamo, da je bila bližina vodotokov merilo za postavitev naselij (Urbanc 2002, 58). Tako na Goriškem kot na Ravenskem (slika 5) delež naselij z oddaljenostjo od vodotokov do 400 m pada. Delež naselij do 200 m od vodotokov je skoraj enak na Goriškem (31 %) in Ravenskem (36 %), na večjih oddaljenostih od vodotokov je na Ravenskem manj naselij kot na Goriškem. Na Goriškem je 19 % naselij oddaljenih za več kot 500 m od vodotokov, na Ravenskem je takšnih kar 48 %. Razlog za takšno lego naselij glede na oddaljenost od potokov sta prav gotovo visoka podtalnica (Repe 2009, 127–139) na prekmurski ravnini, ki nudi dostop do vode, in lažja prehodnost ravninskega



Slika 5: Delež območja Goriškega in Ravenskega, ki je leta 1850 oddaljen od vodotokov 0–200 m, 201–300 m, 301–400 m in več kot 500 m.



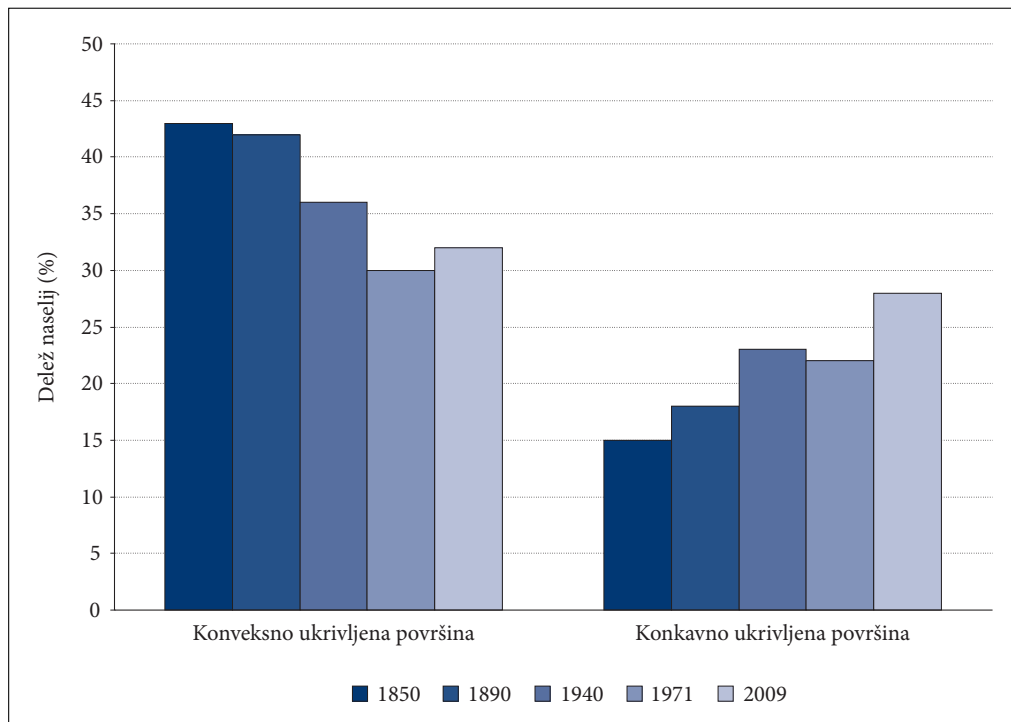
Slika 6: Delež naselij iz leta 1850 in novogradenj v letih 1890, 1940, 1971 in 2009 na najvlažnejših tleh za Goričko in Ravensko.

površja, zaradi česar je razdalja manj pomembna. Na Ravenskem so majhne globine do gladine podzemnih vod, saj se srednje globine do gladine podtalnice na večini vodomernih postaj v Prekmurju gibljejo od 1 do 5 m (Brečko Grubar 2009).

Izveden sloj poplavnega območja: Poplavno območje katastrofalnih poplav (medmrežje 2) pokriva 2 % testnega območja Goričkega in 6 % območja Ravenskega. Leta 1850 območje katastrofalnih poplav ni bilo poseljeno. Razvidno je, da se v obdobjih od 1890 do 1971 na poplavnem območju Goričkega pojavi 1 % novogradenj, v zadnjem obravnavanem obdobju pa 3 %. Na Ravenskem se novogradnje na poplavnem območju pojavijo v obdobjih 1890–1940 in 1971–2009.

Izveden sloj vlažnosti tal: Sloj vlažnosti tal je bil izdelan iz sloja DMR-ja z orodjem topografski indeks vlažnosti, programskega paketa SAGA GIS (Band 1993). Vrednosti sloja so bile klasificirane v pet razredov po načelu linearne vrste. Območja z največjo vrednostjo vlažnosti predstavljajo 3 % testnega območja Goričkega in 26 % območja Ravenskega. Na najbolj vlažnih tleh leta 1850 na Goričkem ni bilo naselij (slika 6), na Ravenskem pa je bilo takšnih 7 %. Od leta 1850 do leta 2009 so se naselja širila tudi v vlažnejša območja. Največji delež novogradenj na vlažnih območjih se pojavi na Goričkem (7 %) in Ravenskem (19 %) v obdobju 1971–2009.

Izveden sloj ukrivljenosti površja: Pri ukrivljenosti površja smo se osredotočili na konkavno (do-line) in konveksno (slemenena) ukrivljenost površja. Na testnem območju Goričkega sta obe obliki ukrivljenosti zastopani v skoraj enaki meri (slika 7): konkavnega površja je 27 %, konveksnega pa 28 %. Primerjava lege naselij z ukrivljenostjo površja je pokazala, da je v vseh obravnavanih obdobjih več naselij na konveksno ukrivljenem v primerjavi s konkavno ukrivljenim površjem, ter da se delež naselij na konveksno ukrivljenem površju tekom obdobj zmanjšuje v prid konkavno ukrivljenemu. Tako je bilo



Slika 7: Delež naselij iz leta 1850 in novogradenj v letih 1890, 1940, 1971 in 2009 na konveksno in konkavno ukrivljenem površju Goriškega.

leta 1850 43 % naselij na konveksno ukrivljenem in 15 % na konkavno ukrivljenem površju. V obdobju 1971–2009 je bilo na konveksno ukrivljenem površju 32 % naselij, na konkavno ukrivljenem pa 28 %. Analiza ukrivljenosti Ravenskega je bila izpuščena zaradi razmeroma ravnega terena.

Opisni induktivni in deduktivni modeli: Z induktivnim in deduktivnim modelom smo iskali značilnosti leg naselij na Goričkem in Ravenskem (slika 8). Vsi modeli so bili sestavljeni iz izvedenih slojev po istem načelu: vanje so bili vstavljeni binarni rastrski izvedeni sloji ekspozicije, naklona, vetrovnosti in vlažnosti tal, ki so ustrezali zahtevanim kriterijem modela. Modeli so obravnavali območja naselij iz leta 2009. Rezultat modela lahko prikaže območja z zahtevanimi lastnostmi na večjem območju od zelenega, zato ga je treba umeriti na manjše območje (Clarke in Silva 2001, 525–552). Za umerjanje rezultatov modela je bil uporabljen sloj naselij iz leta 2009, saj smo z modeli obravnavali le območja naselij iz leta 2009, ki so po površini najboljše. Slika 9 prikazuje Boolovo površino induktivnega modela za Ravensko, ki sovпада z izbranimi parametri pri analizi površin primernih za poselitev.

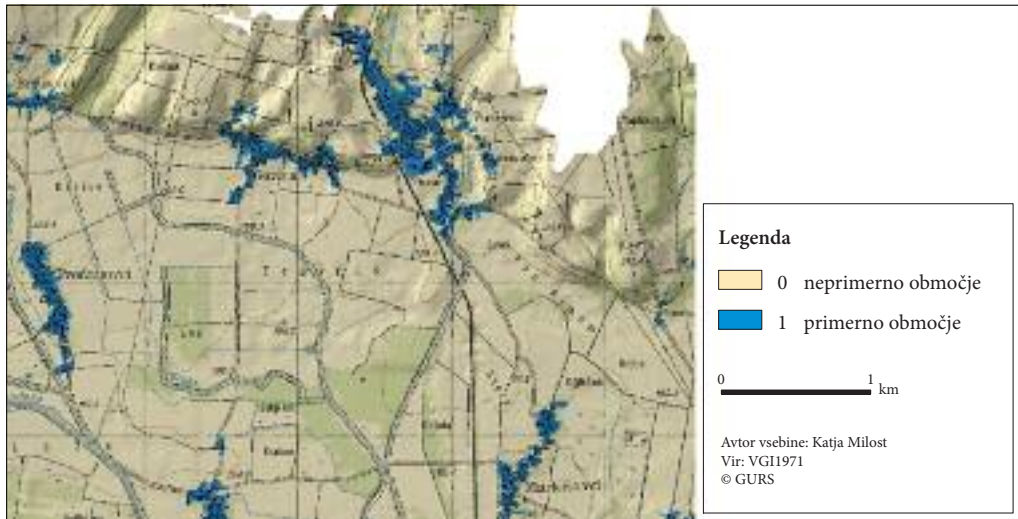
4 Razprava

Pri primerjanju leg naselij z območji, kjer je vetrovnost največja, se je pokazalo, da se niti naselja iz leta 1850 niti poznejše novogradnje ne izogibajo tem območjem, kar ni presenetljivo, saj hitrosti vetra v tem delu Slovenije sodijo med lahke sapice ali šibke vetrove.

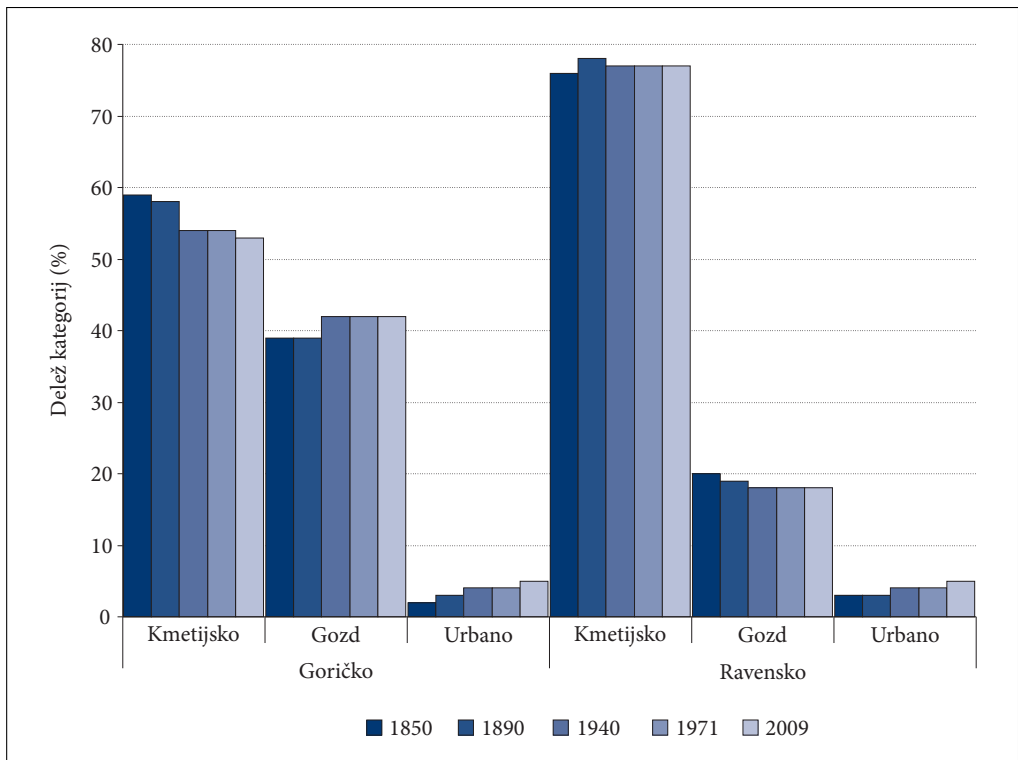
Izvedeni sloji rabe tal so služili za ugotavljanje sprememb pokrajine na testnem območju Goriškega in Ravenskega. Izkazalo se je, da se na Goričkem površine kmetijskih zemljišč zmanjšujejo (slika 10)



Slika 8: Model za iskanje območij naselij po izbranih parametrih.



Slika 9: Prikaz primernih (modra) in neprimernih (rumena) poselitvenih območij za del testnega območja Ravenskega.



Slika 10: Delež kategorij rabe tal v letih 1850, 1890, 1940, 1971 in 2009 na Goričkem in Ravenskem.

vse od leta 1850 do leta 2009 v nasprotju z urbanimi in gozdnimi površinami, ki se nekoliko povečujejo. Delež novogradenj na kmetijskih zemljiščih na Goričkem je največji v obdobju 1850–1890 in najmanjši v obdobju 1940–1971, kar je proti pričakovanjem in najverjetneje posledica gradnje na gozdnih površinah. Delež urbanih površin je leta 1850 na Goričkem (2 %) manjši kot na Ravenskem (3 %), kar je zaradi razgibanega reliefa pričakovano. Leta 2009 je ta delež enak na Goričkem in Ravenskem (5 %).

Na Ravenskem (slika 9) se je površina kmetijskih površin od 1850 do 2009 nekoliko povečala, gozdna površina pa nekoliko zmanjšala. Ravno tako kot na Goričkem je tudi na Ravenskem prisoten trend rasti urbanih površin. Analiza je pokazala, da je največji delež novogradenj na Ravenskem na kmetijskih površinah v obdobju 1940–1971 in najmanjši v obdobju 1890–1940 in 1971–2009.

Rezultati so pokazali, da je največ naselij na ravninah do 5° kar je v skladu z ugotovitvijo, da je največji delež naselij v razredu naklona 2–4° (Perko 2001, 117). Glede ekspozicije površja rezultat raziskave nekoliko odstopa od povprečja v Sloveniji, saj smo ugotovili, da se v vseh obravnavanih obdobjih največ naselij leži na vzhodni, jugovzhodni in zahodnih legah. Za Slovenijo pa velja, da je največ naselij na južnih, jugozahodnih in jugovzhodnih legah (Perko 2001, 117). Rezultat spreminjanja pokrajine, ki je v našem primeru izrazitejša na Goričkem, je značilen za širši prostor, saj se pokrajina zarašča zaradi opuščanja ali prestrukturiranja kmetijstva (Urbanc 2002, 71).

Rezultati za obdobje 1940–1971 na nekaterih prikazanih histogramih odstopajo od trenda rezultatov ostalih obdobj, kar je najverjetneje posledica manjšega sloja novogradenj za to obdobje.

5 Sklep

Študija je potrdila trend povečevanja gradnje naselij na manj primernih območjih: območjih katastrofalnih poplav, na vlažnejših tleh in na večjih naklonih površja. Na Goričkem se od leta 1890 do leta 2009 naselja širijo celo na pobočja z nakloni večjimi od 15°. Večina naselij in novogradenj iz vseh obravnavanih obdobjih je na konveksno ukrivljenem površju, vendar se ta delež tekom obdobj zmanjšuje, medtem ko delež novogradenj na konkavno ukrivljenem površju prek obdobj narašča. Na Goričkem je prisoten trend manjšanja kmetijskih zemljišč (59–53 %) in večanje gozdnih (39–42 %) ter urbanih površin (2–5 %). Na Ravenskem je prišlo do manjšega nihanja deleža kmetijskih površin; ta se je sčasoma nekoliko povečal. V nasprotju s tem, pa so se gozdne površine nekoliko zmanjšale (20–18 %).

Raziskava je pokazala, da novejša novogradnja čedalje manj upošteva enake prostorske značilnosti kot naselja iz leta 1850.

Med dosežke raziskave na področju GIS-ov prištevamo izdelana orodja za aplikacijo ArcMap in nova spoznanja o legi naselij.

V analizo bi lahko vključili sloj pedološke karte in pedoloških profilov tal (vir: GERK portal) in s tem pridobili podatek o kakovosti kmetijskih zemljišč. Na podlagi tega bi lahko ugotavljali katerim območjem se moramo z gradnjo izogniti in katerim ne. Tovrstno raziskavo bi bilo smiselno izvesti za območja, ki jih naravne nesreče pogosto prizadenejo (Podobnikar in drugi 2010), rezultate pa vključili v urbanistične načrte, s čimer bi se izognili posledicam naravnih nesreč v bodoče.

Zahvala in pojasnilo: Podatki novejšega datuma so bili pridobljeni na Geodetski upravi Republike Slovenije, starejše kartografsko gradivo pa od naslednjih podpornikov: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, NUK (dr. Renata Šolar), dr. Vincenc Rajšp, dr. Gábor Timár, dr. István Márkus, g. Romeo Varga, ga. Stanka Dešnik, ter osebni arhiv g. Marjana Podobnikarja. Naloga je bila zasnovana v okviru projekta TransEcoNet, Central Evrope, vendar na žalost do njene implementacije zaradi zapletov na Univerzi v Novi Gorici ni prišlo.

6 Viri in literatura

- Band, L. E. 1993: Extraction of channel networks and topographic parameters from digital elevation data. Channel network hidrology. Toronto.
- Brečko Grubar, V. 2009: Hidrografske značilnosti porečja kot osnova za celostno upravljanje s porečjem Mure. Medmrežje: http://www.drustvo-geografov-pomurja.si/projekti/zborovanje/zbornik/gValentina%20Brecko%20Grubar_T.pdf (6. 2. 2012).
- Clarke, K. C., Silva, E. A. 2002: Calibration of SLEUTH urban growth model for Lisbona and Porto, Portugal. Computer, environmental and urban systems. Medmrežje: http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Pub/SLEUTHpapers_Nov24/Silva&Clarke.pdf (6. 2. 2012).
- Dalla Bona, L. 1994: Cultural heritage resource predictive modelling project, Methodological considerations. Centre for Archaeological Resource Prediction. Thunder Bay.
- Drozg, V. 1995: Morfologija vaških naselij v Sloveniji. Ljubljana.
- Ford, A. 1999: Modelling the environment. An introduction to system dynamic modelling of environmental systems. Washington.
- Marušič, J. 2010: Spreminjamo sistem varstva kmetijskih zemljišč. Medmrežje: http://www.dkas.si/files/231_prispevek_ProfMarusic.pdf (6. 2. 2012).
- Medmrežje 1: <http://rkg.gov.si/GERK/> (19. 4. 2012).
- Medmrežje 2: <http://www.dhd.si/okp.html> (19. 4. 2012).
- Natek, K. 2007: Geografske dimenzije naravnih nesreč in varstva pred njimi. Medmrežje: http://www.ff.uni-lj.si/oddelki/geo/publikacije/dela/files/Dela_28/11_natek.pdf (6. 2. 2012).
- Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa. Geografija Slovenije 3. Ljubljana
- Podobnikar, T. 2009: Georeferencing and quality assessment of Josephine survey maps for the mountainous region in the Triglav National Park. Acta geodaetica et geophysica Hungarica. Budimpešta.
- Podobnikar, T. 2011: Old maps for spatial application. Medmrežje: <http://www.vector1media.com/article/features/17952-old-maps-for-spatia> (28. 1. 2012).
- Podobnikar, T., Székely, B., Hollaus, M., Roncat A., Dorninger, P., Briesse, C., Melzer, T., Pathe, C., Höfle, B., Pfeifer, N. 2010: Vsestranska uporaba aero-laserskega skeniranja za ugotavljanje nevarnosti zaradi naravnih nesreč na območju Alp. Od razumevanja do upravljanja, Naravne nesreče 1. Ljubljana.
- Repe, B. 2009: Trajne spremembe rabe tal in degradacija prsti. Pomurje. Geografski pogledi na pokrajino ob Muri. Ljubljana.
- Urbanc, M. 2002: Kulturne pokrajine v Sloveniji. Geografija Slovenije 5. Ljubljana.

PROSTORSKA ANALIZA IN KARTIRANJE ROMSKIH NASELIJ V SLOVENIJI

Ksenija Žagar, Blaž Barborič, dr. Dalibor Radovan

Geodetski inštitut Slovenije

ksenija.zagar@gis.si, blaz.barboric@gis.si, dalibor.radovan@gis.si

UDK: 711.4:528.94(497.4=214.58)

IZVLEČEK

Prostorska analiza in kartiranje romskih naselij v Sloveniji

Dosedanje raziskave in elaborati o romski populaciji v Sloveniji vsebujejo večinoma le besedilne in tabularne opise naselij z romskim prebivalstvom, podatki niso locirani v prostoru in niso prikazani na kartografskih gradivih v različnih merilih.

V prispevku so predstavljeni postopki zbiranja različnih podatkov o romski populaciji, njihovo geolociranje in kartiranje ter nekateri rezultati izvedenih prostorskih analiz romskih naselij.

KLJUČNE BESEDE

Romi, romsko naselje, geolociranje, kartiranje, prostorska analiza, tematska kartografija

ABSTRACT

Spatial analysis and mapping of Roma settlements in Slovenia

Previous researches and expert reports of the Roma population in Slovenia contain mostly text and tabular descriptions of Roma settlements, data are not located in space and do not appear on the cartographic materials at different scales.

This paper presents methods of gathering different data for the Roma population, determining their location, mapping and some results of the spatial analysis of Roma settlements.

KEY WORDS

Roma, Roma settlement, geolocation, mapping, spatial analysis, thematic cartography

1 Uvod

Romi so prostorsko razpršena skupnost, ki je v zadnjih desetletjih zaradi načrtno ustalitve in drugih razlogov izoblikovala več t. i. romskih naselij, v katerih živi večji del pripadnikov. Izraz romsko naselje je nastal ob vprašanju, kako poimenovati skupino bivalnih enot, v katerih živi romsko prebivalstvo. Te enote niso dejanska statistična naselja z ustrežno numeracijo, in čeprav so v bližini obstoječih statistično opredeljenih naselij, se vanje funkcionalno večinoma ne vključujejo. Največ Romov živi v Prekmurju in na Dolenjskem. Večinoma so podeželsko prebivalstvo, povsem nova skupina pa so mestne populacije v večjih mestih, predvsem v Ljubljani in Mariboru; slednji so večinoma imigranti iz držav nekdanje Jugoslavije, ki so prišli v Slovenijo v zadnjih treh desetletjih. Na Gorenjskem najdemo tudi nekaj pripadnikov Sintov, ki živijo razpršeno (Zupančič 2010).

Pregled dosedanjih raziskav in elaboratov o romski populaciji v Sloveniji je pokazal, da vsebujejo večinoma le besedilne in tabelarične opise naselij z romskim prebivalstvom. Podatki večinoma niso geolocirani in niso prikazani na kartografskih gradivih v različnih merilih. Kartografski prikazi se v večini primerov nanašajo le na označitve občin, kjer živijo predstavniki romske skupnosti. V Popisnem atlasu Slovenije tematska karta prikazuje število Romov po naseljih (Dolenc s sodelavci 2007). Tematskih kart, ki bi prikazovale druge vsebine, povezane z romskim prebivalstvom, praktično ni.

Pri projektu »Dvig socialnega in kulturnega kapitala v okoljih, kjer živijo predstavniki romske skupnosti«, kjer sodelujemo kot projektni partner in katerega koordinator je Inštitut za narodnostna vprašanja, smo prostorsko umestili romska naselja, izvedli prostorske analize in izdelali različne tematske karte.

2 Evidentiranje, geolociranje, zajem in kartiranje lokacij romskih naselij

Osnova prvega dela preučevanja je bila koncentrirana na geolociranje pridobljenih prostorskih podatkov o romski populaciji in kartografsko zajemanje, ki je potekalo ločeno za posamezne regije, v katerih živijo Romi.

Ob začetku dela smo najprej zbrali vse dostopne informacije in podatke o romskem prebivalstvu. Podatke o romski populaciji smo pridobili prek različnih virov: Statističnega urada Republike Slovenije (Popis prebivalstva 2002), Ministrstva za šolstvo in šport in Centrov za socialno delo (podatke CSD je pridobil Inštitut za narodnostna vprašanja in nam jih posredoval). Pri omenjenih virih je šlo predvsem za podatke o demografiji oziroma v večini primerov le za podatke o številu romskih prebivalcev. Podatki so bili prostorsko različno strukturirani; večinoma so tabelarično prikazovali število Romov po občinah, posameznih šolah, območju delovanja centra za socialno delo, nekateri pa so vsebovali tudi podatke, ki so se nanašali na posamezna romska naselja. Zelo so nam pomagali različni elaborati (predvsem dela dr. Jerneja Zupančiča in Strokovne skupine za reševanje prostorske problematike romskih naselij) ter ostali, na spletu dostopni viri in informacije. Potrebne prostorske podatke smo pridobili na Geodetski upravi Republike Slovenije, z vidika uporabnosti v projektu pa smo pregledali tudi podatke, ki smo jih na inštitutu sami pridobili že znotraj drugih raziskav.

Za prostorske analize in kartiranja je bilo treba vse zbrane podatke najprej geolocirati; vsakemu romskemu naselju smo določili lokacijo v prostoru. Za osnovni pregled in sistematizacijo del smo najprej vse podatke zbrali v enotno bazo, kjer smo romska naselja razvrstili po občinah in znotraj občin v redna naselja. Romska naselja smo za zajem klasificirali, nato smo s pomočjo kartografskih podatkovnih virov majhnih meril določili širše območje rednega naselja in mu dodelili ustrezen list digitalnega ortofota (DOF), ki ga pokriva. Sledilo je pregledovanje DOF-ov, na katerih smo iskali prostorske poselitvene vzorce, ki so značilni za romska naselja. Vzorce oziroma poselitveno strukturo romskih naselij smo definirali na podlagi preučevanj nekaj izbranih poznanih in preverjenih primerov in s pomočjo pridobljenih informacij o prostorskih značilnostih romskih naselij. Naseljem, ki smo jih našli s pomočjo DOF-ov, smo določili lokacijo (koordinate) središčne točke ter začrtali mejo naselja oziroma zarisali območje, ki ga naselja zajema.



Slika 1: Romsko naselje Smrekec (občina Grosuplje), DOF, 2011.



Slika 2: Romsko naselje Pertoča (občina Rogašovci), DOF, 2010.

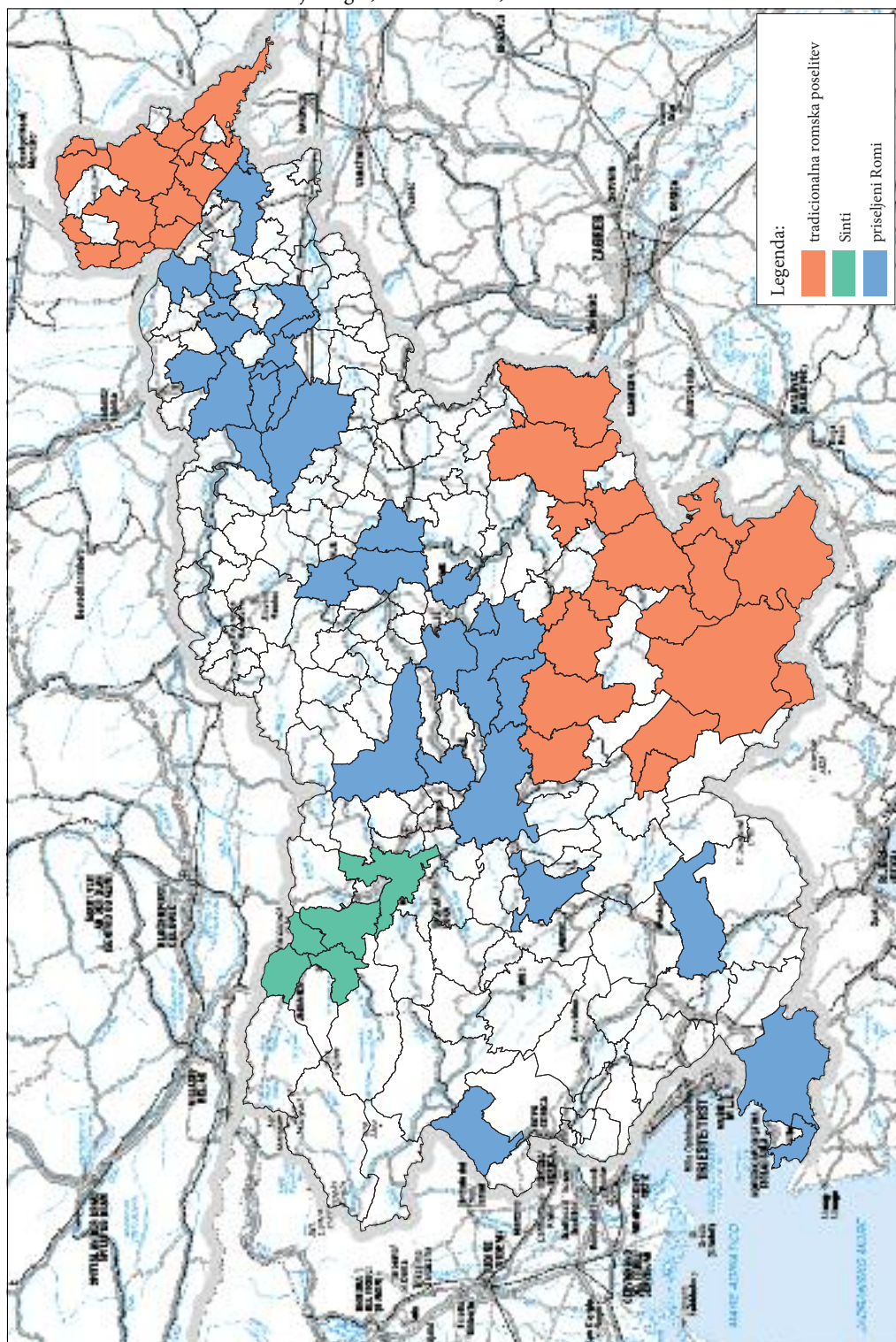
Ker se tovrstne problematike ne da obravnavati le kabinetsko in ker vseh romskih naselij ni bilo mogoče geolocirati s pomočjo DOF-ov, nekatere lokacije pa so bile nejasne, smo opravili tudi terensko delo. Na terenu smo, ločeno za Prekmurje in Jugovzhodno Slovenijo, s pomočjo lokalnega neromskega in romskega prebivalstva ter kartografskega gradiva iskali romska naselja ter njihove lokacije sproti vrisovali na karto. Hkrati smo preverili še nejasne lokacije romskih naselij.

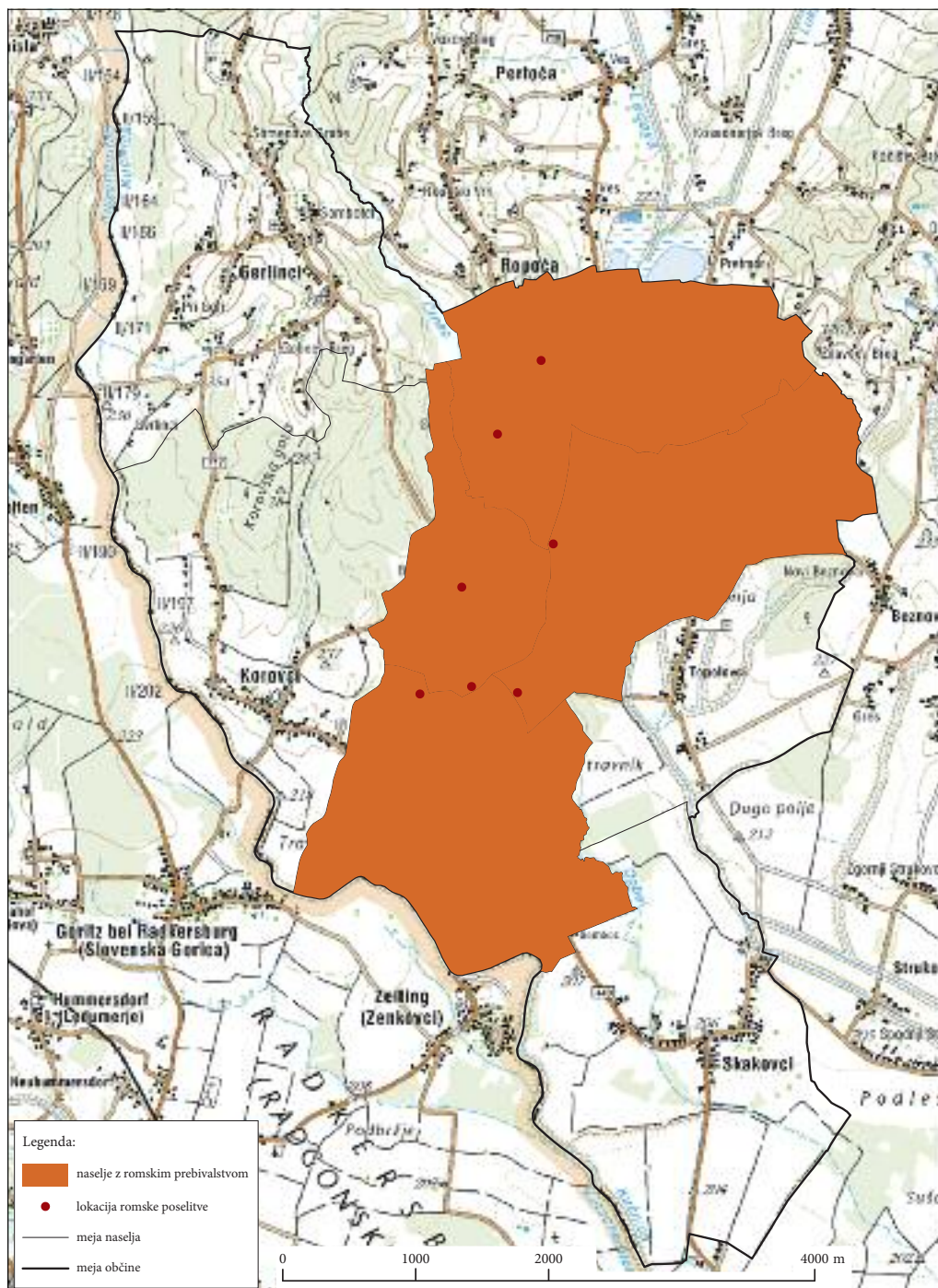
Ob končanju geolociranja in zajemanja romskih naselij smo imeli za vsako romsko naselje posebej ter skupaj za občine pripravljene datoteke, ki so vsebovale *shp središčne točke romskega naselja, *shp območja romskega naselja in ustrezen DOF, ki ga pokriva. Podatke smo združili tudi za prikaze v ostalih prostorskih enotah (statistične regije, upravne enote, redna naselja in šolski okoliš) ter za celotno Slovenijo. *shp datoteke smo dopolnili s pridobljenimi demografskimi in ostalimi podatki. Točkovno lokacijo smo določili 97 romskim naseljem (s klasifikacijo smo izločili romsko populacijo, ki živi razpršeno po mestih, na primer v stanovanjskih blokih), območje pa smo začrtali 78 romskim naseljem (izločili smo romska »naselja«, ki vsebujejo tri hiše ali manj). Rezultate smo prikazali na kartografskih gradivih različnih meril.

3 Kartiranje prostorskega širjenja romskih naselij

Za časovni pregled prostorskega razvoja romskih naselij in izdelavo kart prostorskega širjenja smo potrebovali serijo starejših DOF-ov. S pomočjo seznama števil listov DOF, ki pokrivajo romska naselja,

Slika 3: Občine, kjer živijo Romi in Sinti. ► (str. 136)





Slika 4: Občina Cankova – lokacije romskih naselij.

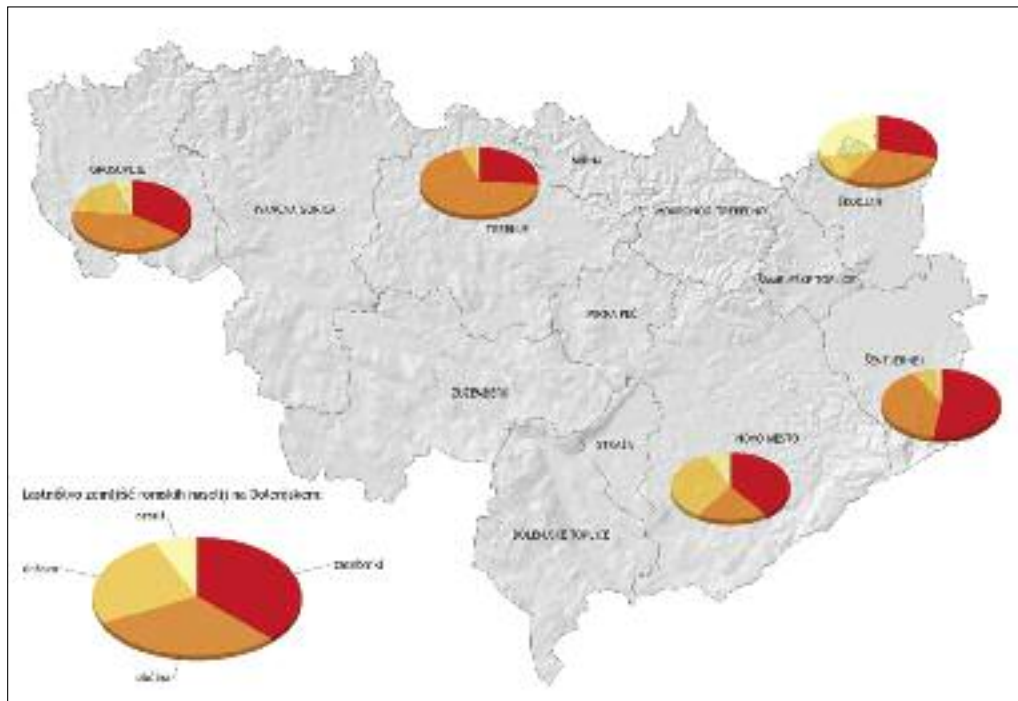


Slika 5: Karta prostorskega širjenja romskega naselja Žabjak-Brezje (občina Novo mesto), podlaga DOF, 2010.

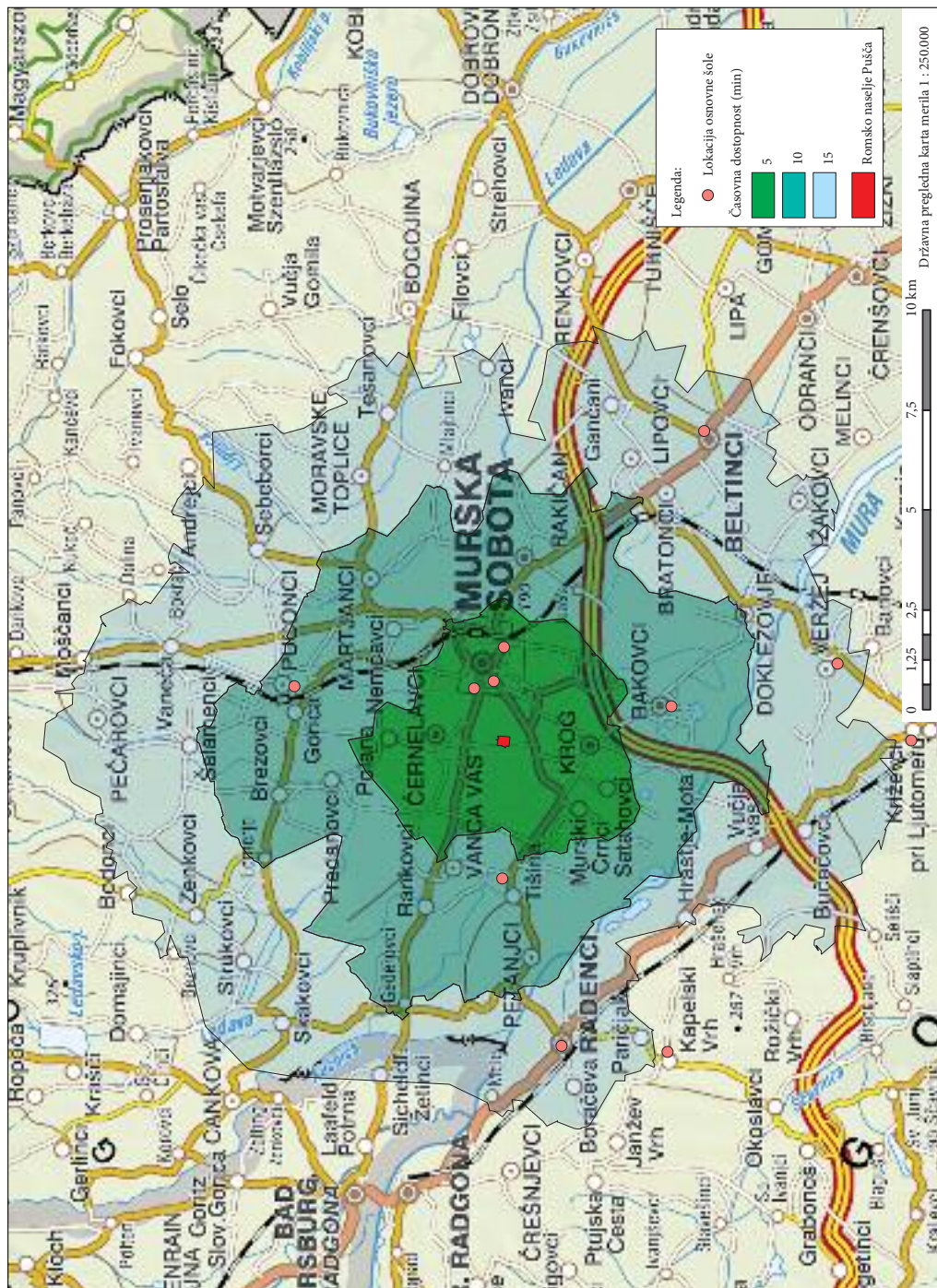
in Gauss-Krügerjevih koordinat središčnih točk romskih naselij smo pridobili več serij starejših posnetkov cikličnih aerosnemanj iz 80-ih in 90-ih let prejšnjega stoletja ter tiste pred zadnjim snemanjem. Novejše posnetke in posnetke iz 90-ih let smo pridobili za vsa romska naselja. Zaradi dolgotrajnosti zbiranja in skeniranja posnetkov iz 80-ih let, smo le-te pridobili za 28 območij. Posnetke smo geolocirali, naredili slike, jih zložili v časovno zaporedje in za vsa romska naselja posneli filme prostorskega širjenja. Pri kartografskem zajemanju smo za vsako romsko naselje najprej določili meje naselja v 90-ih letih, nato smo zajeli območje naselja. Območij nismo zajemali za vsa naselja; romska naselja smo pregledali, analizirali ter določili kriterije zajema in prikazov prostorskega širjenja. Enako smo za 17 največjih romskih naselij naredili za 80-ta leta. Zajete podatke smo nato obdelali; podatke smo najprej generalizirali, iz poligonskih *.shp smo izdelali linije in ponovno uskladili meje. Za nazornejši kartografski prikaz smo poligone območij različnih obdobj presekali med seboj ter tudi tu uskladili linije različnih obdobj. Sledil je izbor podlage za tematske karte prostorskega širjenja romskih naselij, kjer smo se odločili za sivinski DOF z določeno prosojnostjo.

4 Kartiranje formalno-pravne ureditve romskih naselij

Prostorska analiza je zajemala tudi ugotavljanje lastništva zemljišč romskih naselij, računanje deležev stavb brez hišne številke ter vizualizacijo romskega naselja Hudeje (občina Trebnje) v obliki trirazsežnostnega modela s poudarkom na prikazu stavb z urejenim zakonskim statusom in bodočim prostorskim razvojem. Za analizo lastniške strukture zemljišč glede na lastništvo fizičnih in pravnih oseb smo povezali evidence zemljiškega katastra in registra nepremičnin. Pridobljeno bazo podatkov o lastništvu smo presekali z bazo podatkov z območji romskih naselij. Tako smo za vsako romsko naselje pridobili več



Slika 6: Lastništvo zemljišč romskih naselij glede na velikost parcele po občinah, Dolenjska.



Slika 8: Karta časovne dostopnosti romskega naselja Pušča do bližnjih osnovnih šol.

geovizualizacije romskega naselja Hudeje smo s pomočjo DOF-a in načrta o legalni situaciji naselja v *Google sketchUp*-u trirazsežno upodobili vse objekte v naselju in jih ločili v dve kategoriji: na tiste brez zakonskega statusa in tiste, ki imajo legaliziran status. Prikaz smo nato prevedli v kml, položili na *Google Earth* ter posneli vizualizacijo, ki je vključevala tudi prikaz bodočega razvoja naselja s postavitvijo večnamenske dvorane, športnega igrišča ter ekoloških otokov.

5 Kartiranje časovne dostopnosti od romskih naselij do osnovnih šol

Časovno dostopnost romskih naselij do osnovnih šol smo prikazali s ploskvami časovne oddaljenosti od središča romskega naselja. Osnova določanja ploskev časovne oddaljenosti je mrežna analiza cestnega omrežja. V postopku mrežne analize sta nujna vhodna podatka topološko urejen sloj cest in parametri časovne oddaljenosti od središča romskega naselja. V našem primeru smo izbrali parametre za izračun ploskev 5, 10 in 15 minutne oddaljenosti od središča romskega naselja s povprečno hitrostjo 50 km/h. Končne ploskve časovne oddaljenosti smo generalizirali in jih prikazali na rastrski kartografski podlagi skupaj z lokacijami osnovnih šol v območju mrežne analize.

6 Sklep

Prostorske analize, tematsko kartiranje in vizualizacije romskih naselij v obliki dvo- in trirazsežnih modelov so se izkazale kot odlično dodatno orodje pri preučevanju romske problematike, zlasti seveda v tistem delu, ki se dotika podatkov povezanih s prostorom in načrtovanjem. S pomočjo prostorskih prikazov bo lažje ugotavljati vzorce preteklega in določati prihodnji prostorski razvoj romskih naselij ter tudi načrtovati različne možnosti reševanja prostorskih problemov. V nadaljevanju dela bi bilo dobro pozornost posvetiti vsakemu romskemu naselju posebej in za večino izdelati detajlno prostorsko dokumentacijo, ki lahko pripomore k uspešnejšemu urejanju problematike naselij z romskih prebivalstvom. Takšna dokumentacija je lahko vsestransko uporabna za prostorsko planiranje, načrtovanje dejavnosti, sanacijo, infrastrukturno opremljanje in legalizacijo ter nadaljnje spremljanje prostorskega razvoja romskih naselij. Podkrepljena z različnimi simulacijami razvoja romskih naselij v obliki trirazsežnih modelov lahko dinamično prikaže pomembnost prostorskih analiz in prikazov pri reševanju romske problematike.

7 Viri in literatura

- Baranja, S., et al. 2010: Dvig socialnega in kulturnega kapitala v okoljih, kjer živijo predstavniki romske skupnosti. Projektna knjiga, Inštitut za narodnostna vprašanja. Ljubljana.
- Dolenc, D., Fridl, J., Kladnik, D., Perko, D., Repolusk, P (ur.) 2007: Popisni atlas Slovenije 2002. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana.
- Zupančič, J. 2010: Prostorski problemi romskih naselij v Sloveniji. Medmrežje: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/drugo/prostorski_problemi_romskih_naselij_elaborat.pdf (1. 3. 2012).

VPLIV RAZDALJE NA TOKOVE DELAVCEV VOZAČEV V SLOVENIJI

mag. Samo Drobne

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

samo.drobne@fgg.uni-lj.si

UDK: 528.021:331.556.2(497.4)

IZVLEČEK

Vpliv razdalje na tokove delavcev vozačev v Sloveniji

V prispevku analiziramo vpliv razdalje na izbiro kraja delovnega mesta v Sloveniji. V ta namen smo razvili bivariatni gravitacijski model, s katerim smo analizirali relativne tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije med letoma 2000 in 2010. Iz rezultatov analize je razvidno, da postajamo v Sloveniji čedalje bolj tolerantni za daljša potovanja na delo. Naša pripravljenost za daljše poti na delo se je povečala predvsem med letoma 2004 in 2006, to je takoj po sprejetju Resolucije o nacionalnem programu izgradnje avtocest leta 2004, kasneje pa se je nekoliko znižala.

KLJUČNE BESEDE

delavci vozači, dnevna mobilnost, dnevne migracije, gravitacijski model, Slovenija

ABSTRACT

Changes of the influence of distance on labour commuting in Slovenia

In the paper, we analyse the influence of distance on labour commuting in Slovenia. For this purpose, we developed the bivariate gravity model to analyse relative flows of inter-municipal labour commuters in Slovenia in 2000–2010. The results show that Slovenian commuters are more and more tolerant for long journeys to work. Our tolerance for longer distances of journey to work has been increased all the time in the analysed period, but it has been increased especially in 2004–2006, just after the new Resolution on national programme for highway construction in Slovenia in 2004 had been announced, and it has been decreased a little in next years.

KEY WORDS

labour commuters, commuting, gravity model, Slovenia

1 Uvod

Selitve prebivalstva, tedenska in dnevna mobilnost na delo, v šolo ali na lokacije drugih aktivnosti danes obravnavamo kot enega izmed najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na demografsko ter družbenoekonomsko podobo regij. Zato je za vsakršno spremembo v regiji zelo pomembno poznati ter razumeti vzroke in posledice tokov prebivalstva (Drobne in Konjar 2011). Na obseg in način mobilnosti delavcev vplivajo številni dejavniki, med katerimi je prometna infrastruktura pomembnejša (Johansson 2008). Prometna infrastruktura, ki je prilagojena uporabi osebnega avtomobila, omogoča lažjo mobilnost delavcev in vsakodnevno vožnjo z avtomobilom v zaposlitvena središča. Zato je gradnja avtocest v zadnjih dveh desetletjih temeljito spremenila tokove mobilnosti delavcev vozačev in s tem posredno vplivala tudi na regionalno strukturo Slovenije (Bole 2011).

Za obdobje po letu 2000 je značilna hitra gradnja avtocest, saj se je v tem obdobju zgradilo veliko novih odsekov na vseh krakih omrežja, ki so skoraj že sklenili avtocestni križ. Predvsem v letu 2008 je bilo dokončanih nekaj zelo pomembnih in dolgo pričakovanih avtocestnih odsekov v skupni dolžini 82,3 km. Leta 2009 so bili prometu predani (nekateri z vidika gradnje zelo zahtevni) avtocestni odseki v skupni dolžini 39,3 km; v letu 2010 pa sta bila prometu predana še zadnja manjkajoča odseka na dolenjskem avtocestnem kraku v skupni dolžini 14,8 km. V tem obdobju se je zgodila še ena velika sprememba. Sistem cestninjenja je zamenjal vinjetni sistem. Tako se voznikom osebnih in enoslednih vozil ni treba ustavljati na cestninskih postajah in plačevati nadomestila za uporabo avtocestnega odseka, ampak kupijo tedensko, mesečno ali letno vinjeto ter se lahko prosto vozijo po avtocestah, kar je še dodatno povečalo hitrost potovanja med posameznimi občinskimi središči.

Z dnevno mobilnostjo delavcev so se v Sloveniji med drugimi ukvarjali Bogataj in Drobne (1997, 2005), ki sta analizirala medregionalne tokove delavcev vozačev kot tudi stalnih selitev v Sloveniji, v (Drobne in Bogataj 2005) pa tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije; Pelc (1998) in Dolenc (2000), ki sta empirično predstavila dnevno mobilnost delavcev v Sloveniji, Pavlin in Sluga (2000) sta analizirala zaposlitveno moč Ljubljane, Bole je analiziral dnevno mobilnost delovno aktivnega prebivalstva v Sloveniji ob popisu leta 2002 (Bole 2004) oziroma spremembe v mobilnosti zaposlenih v največja zaposlitvena središča Slovenije med letoma 2000 in 2009 (Bole 2011). Rezultati zadnje Boletove študije (2011) kažejo, da se je v Sloveniji znatno povečal obseg mobilnosti zaposlenih kot tudi smeri njihovih relacij. Pečar (2009) je analizirala privlačnost zaposlitvenih središč v Sloveniji kot tudi zunanjo delovno mobilnost ob Popisu 2002. Drobne in sodelavci (2008a) so analizirali vpliv spremembe Šengenske meje na tokove stalnih selitev v (2011) pa so analizirali dinamiko na lokalni ravni tokov delavcev vozačev. Drobne in Bogataj (2011) sta analizirala s pomočjo gravitacijskih modelov tokove stalnih selitev ter tokove delavcev vozačev med regijami Slovenije na NUTS 3 in SKTE 5 ravni med letoma 2000 in 2009.

S prometno dostopnostjo v Sloveniji glede na izgradnjo novih avtocest so se med drugimi ukvarjali Bogataj in Drobne (1997, 2005) ki sta analizirala vpliv izgradnje avtocest, oziroma investicij v avtoceste, na tokove delavcev vozačev ter posredno tudi na stalne selitve, Drobne (2003, 2005), ki je razvil rastrski pristop modeliranja dostopnosti do izbranih središč in katerega so testirali Drobne in sodelavci (2004, 2005), Drobne in sodelavci (2008b), ki so testirali vpliv dostopnosti do avtocestnih priključkov na tokove delavcev vozačev v gravitacijskih modelih, Kozina, ki je analiziral prometno dostopnost kot kriterij regionalizacije (2008) oziroma analiziral prometno dostopnost do izbranih regionalnih središč v Sloveniji na primeru cestnega podsistema (2010) ter Zavodnik Lamovšek s sodelavci (2009), ki so analizirali vpliv dostopnosti do javnih storitev kot orodje za doseganje policentričnega razvoja Slovenije.

V prispevku analiziramo vpliv časovne dostopnosti na tokove delavcev vozačev s pomočjo gravitacijskega pristopa. V ta namen smo večvariatni gravitacijski model prilagodili v bivariatnega, s katerim raziskujemo *relativne* tokove delavcev vozačev. Aplikacijo bivariatnega gravitacijskega modela smo izvedli za relativne tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije med letoma 2000 in 2010.

2 Metodologija

Prostorska interakcija je širok pojem, ki opisuje gibanje v prostoru. V družboslovnih znanostih nas zanima predvsem gibanje v prostoru, ki je rezultat delovanja človeka in ki vključuje selitve, dnevno ali tedensko delovno mobilnost, dnevne ali tedenske tokove dijakov in študentov, tokove informacij in blaga in podobno. Gravitacijski modeli so najbolj razširjeni modeli prostorskih interakcij za analizo in napovedovanje vzorcev prostorskih interakcij (Haynes in Fotheringham 1984). Po analogiji iz naravoslovja, so številni družboslovni raziskovalci (glej, na primer, Stewart 1941, 1942, 1948) posplošili Newtonov zakon gravitacije v skupni gravitacijski model med dvema prostorskima enotama (krajema, občina, regijama, državama itd.) v

$$I_{ij} = a \frac{P_i^{b_1} P_j^{b_2}}{d_{ij}^c}, \quad (1)$$

kjer je I_{ij} interakcija med analiziranimi prostorskimi enotami, na primer, med kraji (regijami) izvora i in kraji (regijami) ponora j , P_i je populacija v kraju (regiji) izvora i , P_j je populacija v kraju (regiji) ponora j , d_{ij} je razdalja med krajema (regijama) i in j , a konstanta, b_1 , b_2 in c pa so eksponenti. Konstanto a in eksponente b_1 , b_2 in c določimo empirično v postopkih regresijske analize.

Vpliv razdalje na interakcije v prostoru lahko analiziramo s pomočjo večariatnega gravitacijskega modela (1), ki ga prilagodimo v

$$DV_{ij} = a \frac{P_i^{b_1} P_j^{b_2}}{d(t)_{ij}^c}, \quad (2)$$

kjer je DV_{ij} tok delavcev vozačev iz občine i v občino j , $d(t)_{ij}$ pa čas potovanja med občinskima središčema i in j . Z modelom (1) analiziramo vpliv potovalnih časov na *absolutne* tokove delavcev vozačev, kjer moramo istočasno upoštevati tudi demografski spremenljivki P_i in P_j . Zato smo model (2) prilagodili v bivariatni gravitacijski model, s katerim smo analizirali vpliv potovalnih časov na *relativne* tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije; in sicer:

$$\frac{DV_{ij}}{P_i P_j \sqrt{\sum DV_{ij}}} = a \cdot d(t)_{ij}^k \quad (3)$$

kjer je $\sum DV_{ij}$ vsota vseh tokov medobčinskih delavcev vozače v analiziranem letu, a konstanta in k koeficient oziroma naklon premice, ki se opazovanjem najbolje prilega, ko neodvisno slučajno spremenljivko $d(t)_{ij}$ in odvisno slučajno spremenljivko $\frac{DV_{ij}}{P_i P_j \sqrt{\sum DV_{ij}}}$ zarišemo na grafikon logaritmskih meril (primerjaj s Taylor 1975). Naklon k premice, ki se opazovanjem najbolje prilega, je neposredna mera vpliva razdalje na odločitev glede potovanja na delo. Bolj ko je premica strma, manj smo tolerantni glede daljših potovanj na delo, oziroma obratno, manjši ko je naklon premice, bolj smo v povprečju pripravljeni potovati na daljše razdalje in za to porabiti več časa.

Delavec vozač (tudi delovni migrant) je zaposlena oseba, pri kateri teritorialna enota delovnega mesta ni enaka teritorialni enoti prebivališča. V tem prispevku analiziramo tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije v enajstletnem obdobju 2000–2010. Vir podatkov o tokovih delavcev vozačev je Statistični register delovno aktivnega prebivalstva (SRDAP), ki ga vodi Statistični urad Republike Slovenije (SURS 2012a). Do konca leta 2008 je za državljane Republike Slovenije upoštevano samo stalno prebivališče, za tujce pačasno. V podatkih, ki se nanašajo na leti 2009 in 2010, pa je upoštevana spremenjena

metodologija: če ima zaposlena oseba prijavljeno začasno prebivališče, se upošteva najprej začasno in šele nato stalno prebivališče. To spremembo v metodologiji vodenja tokov delavcev vozačev smo upoštevali pri analizi in razlagi rezultatov modeliranja funkcionalnih regij.

Število občin se je v analiziranem obdobju spremenilo dvakrat. V letih 2000 in 2001 je bilo v Sloveniji 192 občin. V letu 2002 nastala ena nova občina, v letu 2006 pa je bilo ustanovljenih še 17 novih občin. Do konca analiziranega obdobja je bila Slovenija upravno razdeljena na 210 občin; podrobneje o spremembah občin v (SURS 2012b).

S pomočjo modela (3) smo analizirali vpliv spremembe razdalje na relativne tokove delavcev vozačev v obdobju 2000–2010. Podatke o delavcih vozačih med občinami Slovenije smo pridobili na SURS-u (SURS 2012a), prav tako tudi podatke o številu prebivalcev v občini (SURS 2012c), medtem ko smo podatke o časovnih razdaljah med središči občin modelirali v programskem paketu ArcGIS (Poklukar 2010; in lastni izračun) s pomočjo podatkov o mreži državnih cest za obdobje 2000–2010 (DRSC 2011) ter podatkov o cestninskih postajah za obdobje 2000–2010 (DARS 2011).

Podatke o državnih cestah smo uredili v enajst mrežnih modelov (po analiziranih letih), cestnim odsekom pripisali povprečne potovalne hitrosti glede na kategorijo ceste ter opredelili vpliv cestninskih postaj na potovalno hitrost. Vpliv cestninske postaje na potovalno hitrost je bil opredeljen na dva načina: pred letom 2008, ko je bilo cestnino treba še plačevati in smo se na cestnem odseku, kjer so bile postavljene cestninske postaje, zadržali dlje časa, ter od leta 2008 dalje, ko je z osebnim in enoslednim vozilom praviloma mogoče prečkati cestninsko postajo brez zaustavljanja, toda z zmanjšano hitrostjo. S pomočjo topološko urejenih mrežnih modelov ter lokacij občinskih središč smo izračunali OD matrike (*origin-destination matrix*) oziroma razdalje med vsemi analiziranimi občinskimi središči. Izračunali smo najkrajše in najhitrejše povezave med občinskimi središči po posameznih letih; več o metodologiji izgradnje mrežnih modelov ter izračuna OD matrik v (Poklukar 2010).

3 Rezultati

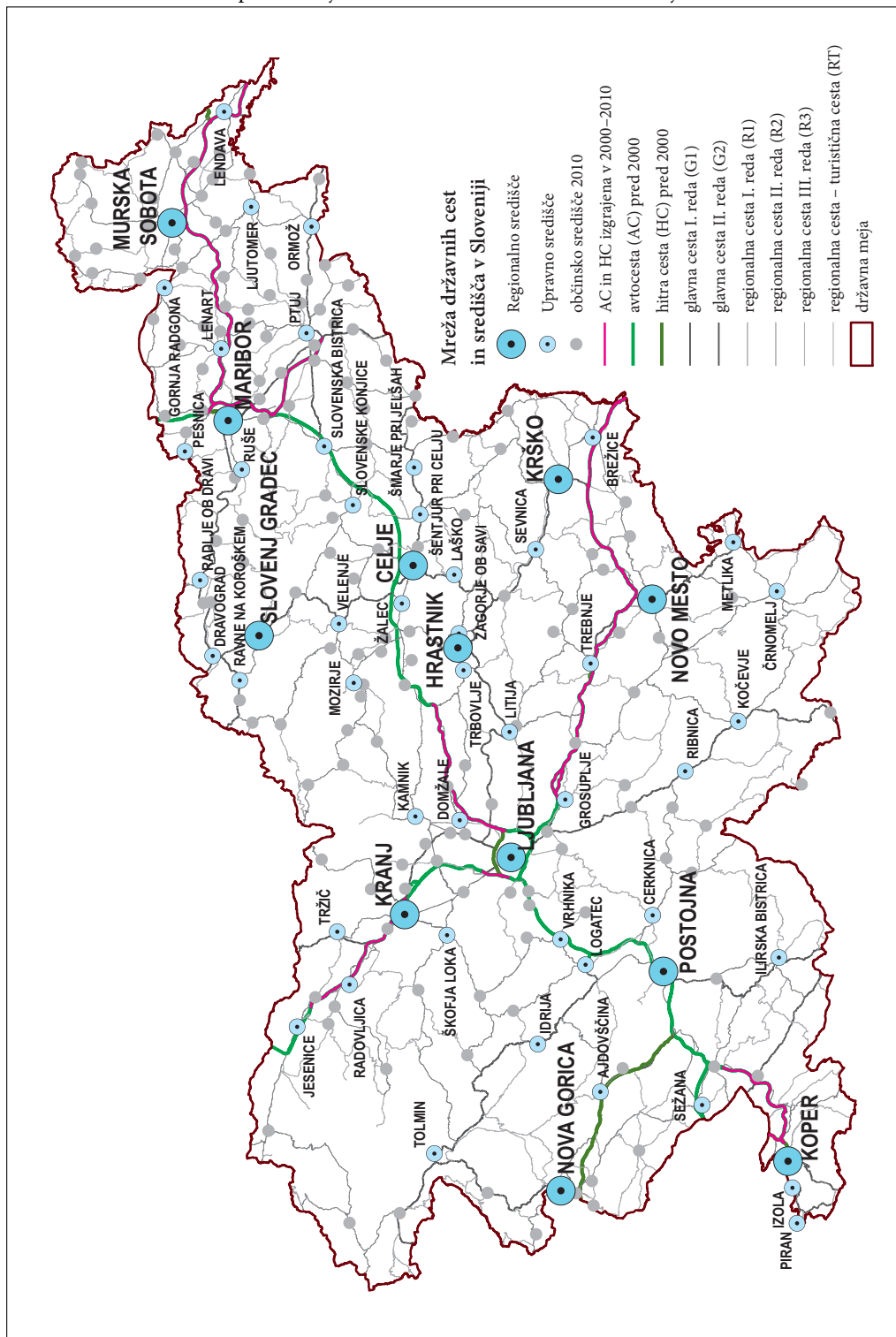
Slika 1 prikazuje mrežo državnih cest s poudarkom na novozgrajenih avtocestnih odsekih ter regionalna, upravna in občinska središča v Sloveniji med letoma 2000 in 2010.

Preglednica 1: Povprečni potovalni čas med občinskimi središči v Sloveniji v letih 2000 do 2010.

leto	število občinskih središč	kumulativna razdalja novih avtocestnih odsekov (km)	povprečni potovalni čas med občinskimi središči (minute)
2000	192	28,8	103
2001	192	36,9	102
2002	193	66,2	99
2003	193	95,9	99
2004	193	132,3	98
2005	193	158,1	96
2006	193	165,9	96
2007	210	168,3	96
2008	210	256,8	91
2009	210	296,1	90
2010	210	310,9	90

Slika 1: Mreža državnih cest in središča v Sloveniji med letoma 2000 in 2010. ►

Vpliv razdalje na tokove delavcev vozačev v Sloveniji



Rezultati izračuna potovalnih časov po najhitrejši poti v orodju ArcGIS kažejo na to, da se je povprečni potovalni čas med občinskimi središči v Sloveniji od leta 2000 do leta 2010 zmanjšal za 13 minut (preglednica 1). Spremembe bi lahko bile pogojene z nastajanjem novih občin (večanje števila občin naj bi pogojevalo zmanjševanjem fizičnih razdalj med občinskimi središči). To se je zgodilo v letih 2001 in 2006. Toda z analizo ostankov v regresijski analizi ugotovimo, da povečanje števila občin v teh letih ne vpliva bistveno na variacijo povprečnih potovalnih časov oziroma na trend skrajševanja povprečnih potovalnih časov.

Regresijski model med kumulativno razdaljo novih avtocestnih odsekov (*KRNAC*) in povprečnim potovalnim časom (*PPC*) med občinskimi središči v analiziranem obdobju je:

$$PPC = 103,4 - 0,045 \cdot KRNAC \quad R^2 = 97,8 \%,$$

kar kaže na izjemno močan vpliv izgradnje novih avtocestnih odsekov na zmanjševanje povprečnih potovalnih časov med občinskimi središči ($r_{KRNAC,PPC} = 98,9$), pri tej trditvi je tveganje izjemno majhno ($\alpha < 0,01 \%$).

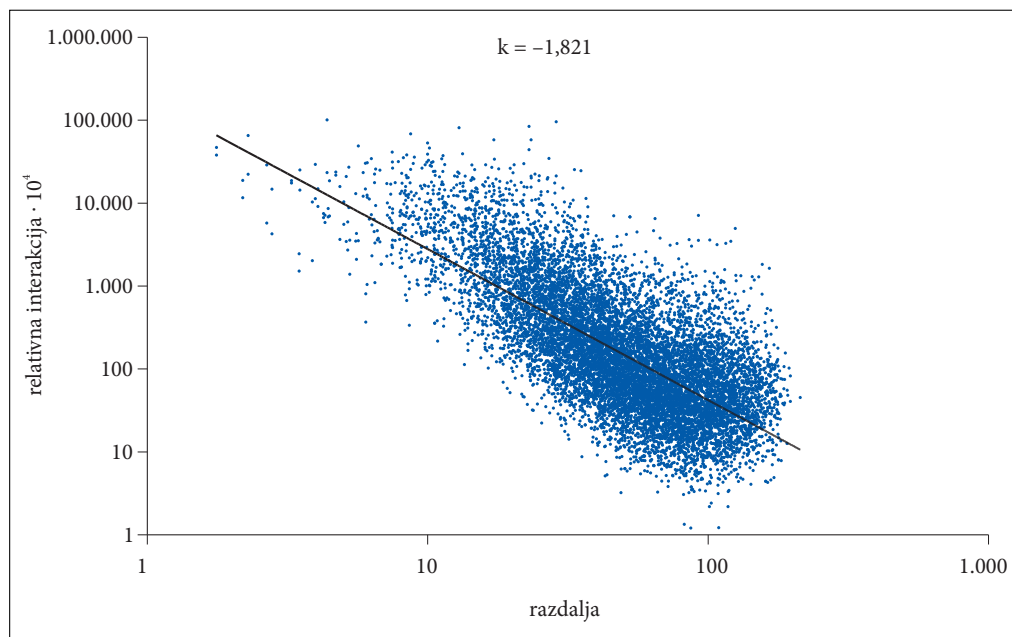
Analizo vpliva razdalje na odločitev glede lokacije delovnega mesta smo analizirali s pomočjo bivariatnega gravitacijskega modela (3), katerega ocene parametrov so v preglednici 2. Podrobna analiza koeficienta regresijske premice dá statistično zanesljive rezultate spreminjanja vpliva razdalje na relativne tokove delavcev vozačev v Sloveniji: tveganje ob trditvi, da vpliv razdalje na izbiro lokacije delovnega mesta v Sloveniji pada, je majhno ($\alpha = 2,2 \%$), hkrati pa so ocene parametrov izjemno zanesljive (vse *P*-vrednosti ocenjenih parametrov so manjše od 10^{-294}).

Preglednica 2: Parametri bivariatnega gravitacijskega modela delavcev vozačev med občinami Slovenije.

leto	število analiziranih interakcij	delež pojasnjene variance (%)	<i>a</i>	<i>k</i>
2000	8.049	54,3	17,7	-1,847
2001	8.274	54,0	18,1	-1,844
2002	8.534	54,0	20,3	-1,864
2003	8.972	53,3	19,7	-1,837
2004	9.371	52,0	18,4	-1,804
2005	9.769	51,4	19,1	-1,801
2006	10.303	50,8	20,5	-1,801
2007	11.944	50,3	22,2	-1,770
2008	12.376	50,0	23,4	-1,780
2009	11.916	50,3	24,2	-1,809
2010	12.107	50,8	25,0	-1,821

Bivariatni gravitacijski model omogoči neposredno analizo spreminjanja vpliva razdalje na odločitve glede lokacije delovnega mesta. Zaradi prostorske omejitve prikazujemo v grafikonu logaritamskih meril v nadaljevanju bivariatni gravitacijski model le za zadnje analizirano leto 2010 (glej sliko 2).

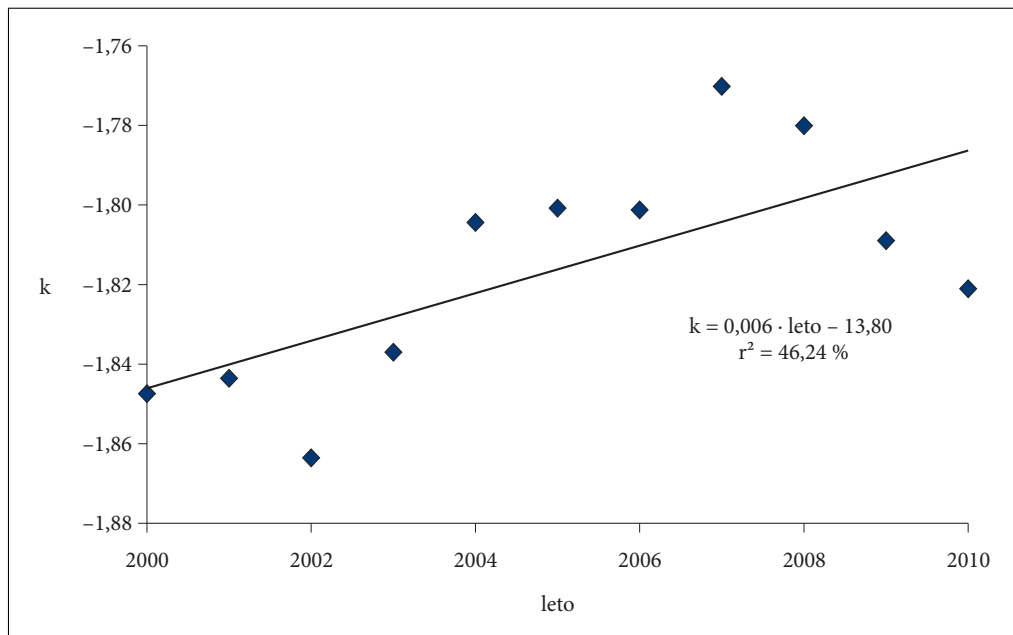
Slika 3 prikazuje spremembe vpliva potovalnega časa na relativne tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije v letih 2000 do 2010 v bivariatnem gravitacijskem modelu. Iz slike je mogoče razbrati, da postajamo v Sloveniji čedalje bolj tolerantni za daljša potovanja na delo. Večja odstopanja od enajstletnega trenda se kažejo predvsem v letih 2002 in 2010, ko smo bili v povprečju pripravljene najmanj časa nameniti vožnji na delo, ter leta 2007, ko smo bili najbolj tolerantni za daljša potovanja na delo. Rezultat razlagamo tako:



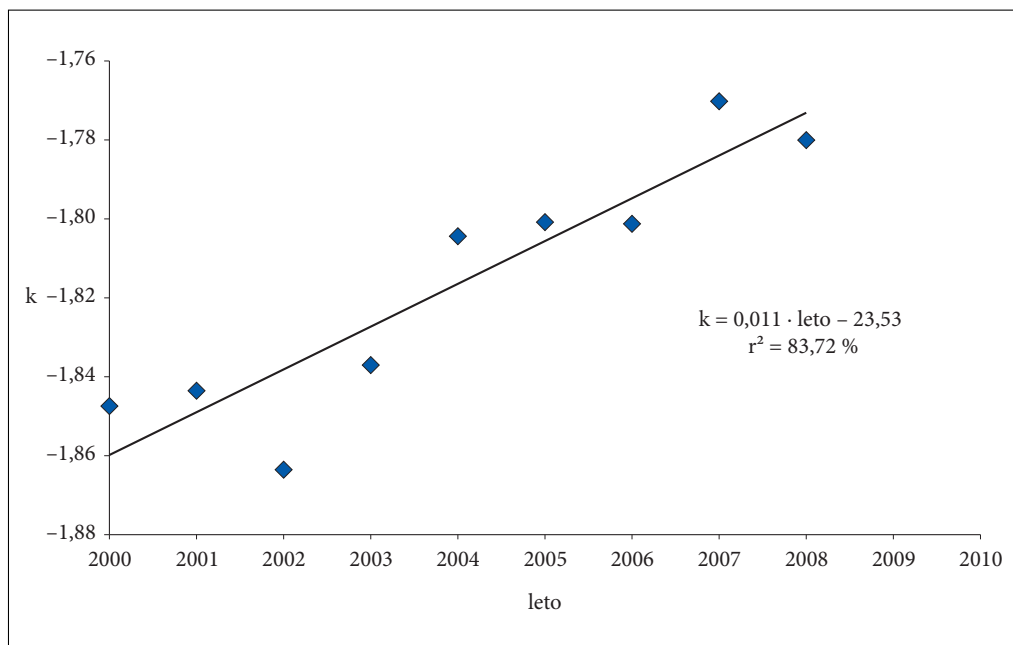
Slika 2: Bivariatni gravitacijski model relativnih tokov delavcev vozačev za leto 2010.

- (a) Leta 2002 se je zaključeval prvi Nacionalni programa izgradnje avtocest v Republiki Sloveniji od leta 1994 do konca leta 2002 (Ur. l. RS 13/96). Domnevamo, da je to bil razlog začasno manjši pripravljenosti potovati na daljše razdalje v letih 2002 in 2003, dokler ni bila sprejeta nova Resolucija o nacionalnem programu izgradnje avtocest v RS (Ur. l. RS 50/2004) leta 2004. Po letu 2004 se je toleranca do potovanj na daljše razdalje zopet dvignila nad povprečno spremembo rasti tolerance v analiziranem obdobju.
- (b) Po letu 2007 smo v Sloveniji dokončali nekaj zelo pomembnih in dolgo pričakovanih avtocestnih odsekov ter odpravili sistem cestninjenja. Vse to je lahko rezultiralo v naših pričakovanjih že leta 2007, kar je dvignilo prag tolerance delavcev vozačev do daljših potovanj na delo.
- (c) Oцени naklonov bivariatnega regresijskega modela za leti 2009 in 2010 odstopata navzdol od enajstletnega trenda spremembe vpliva potovalnega časa na relativne tokove delavcev vozačev (spet smo postali manj tolerantni za daljša potovanja). Takšen, najverjetneje izkrivljen, rezultat je lahko posledica spremenjene metodologije zajema podatkov o medobčinskih delavcih vozačih, ko se od vključno leta 2009 dalje v Sloveniji najprej upošteva začasno in šele nato stalno prebivališče.

Glede na spremenjeno metodologijo zajema podatkov, ko se je ob koncu leta 2009 kar 8,6 % (nekaj manj kot 70.000) delavcev vozačev »prestavilo« iz stalnih v začasna prebivališča, smo v zaključni fazi analize izključili podatke za leti 2009 in 2010. Slika 4 prikazuje spremembe vpliva potovalnega časa na relativne tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije v analiziranem obdobju brez let 2009 in 2010. Iz analize trenda rezultatov samo za obdobje 2000–2008 je mogoče ugotoviti, da še hitreje postajamo tolerantni za poti na daljše razdalje, kot se je izkazalo z analizo celotnega obdobja, medtem ko se odnosi po letih ne spremenijo bistveno od ocenjenih trendov za vseh enajst let skupaj: leti 2002 in 2007 sta še vedno ekstremni leti, ko smo bili najmanj oziroma najbolj tolerantni do potovanj na daljše razdalje, v letih 2004 in 2005 pa je bila naša pripravljenost za daljše potovanje na delo nadpovprečna oziroma v skladu z hitrim gospodarskim razvojem v svetu in v Sloveniji. Iz slike 5 je mogoče tudi razbrati, da smo bili v letih 2004 do 2006, takoj ko je bila sprejeta nova Resolucija o nacionalnem programu izgradnje avtocest (Ur. l. RS 50/2004), najbolj tolerantni do daljših potovanj na delo.



Slika 3: Spremembe vpliva potovalnega časa na relativne tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije med letoma 2000 in 2010 v bivariatnem gravitacijskem modelu.



Slika 4: Spremembe vpliva potovalnega časa na relativne tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije med letoma 2000 in 2008 v bivariatnem gravitacijskem modelu.

4 Sklep

V prispevku smo analizirali spremembe vpliva razdalje na izbiro kraja delovnega mesta. V ta namen smo razvili bivariatni gravitacijski model, s katerim smo analizirali relativne tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije. Vpliv razdalje ter njegovo spreminjanje na tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije smo analizirali za enajstletno obdobje med letoma 2000 in 2010. Iz rezultatov analize je razvidno, da postajamo v Sloveniji čedalje bolj tolerantni za daljša potovanja na delo. To sliko rahlo zameglijo rezultati za leti 2009 in 2010, ko se je spremenila metodologija zajema podatkov o tokovih delavcev vozačev.

Kot je bilo že večkrat ugotovljeno in dokazano, sta dnevna in tedenska mobilnost na delo pomembnejša dejavnika, ki vplivata na demografsko ter družbenoekonomsko podobo regij; glej, na primer, (O'Connor 1980). Na sam obseg in način mobilnosti delavcev pa vplivajo, poleg razpoložljive infrastrukture in družbenoekonomske zgradbe naselbinskega sistema, tudi številni dejavniki, ki so povsem osebne in psihološke narave. Kot so dokazali Green in sodelavci (1986) ter Prashker in sodelavci (2008) se ti dejavniki osebne in psihološke narave odražajo različno glede na spol. To pa bo predmet naših naslednjih raziskav.

5 Viri in literatura

- Bogataj, M., Drobne, S. 1997: The influence of investments in highways on gravity and interaction in Slovenia. SOR'97, The 4th International Symposium on Operational Research in Slovenia. Preddvor.
- Bogataj, M., Drobne, S. 2005: Does the improvement of roads increase the daily commuting?: Numerical analysis of Slovenian interregional flows. Selected decision support models for production and public policy problems. SDI-SOR series 3. Ljubljana.
- Bole, D. 2004: Daily mobility of workers in Slovenia. Acta geographica Slovenica 44-1. Ljubljana.
- Bole, D. 2011: Changes in employee commuting: a comparative analysis of employee commuting to major Slovenian employment centers from 2000 to 2009. Acta geographica Slovenica 51-1. Ljubljana.
- DARS, 2011: Cestninske postaje v Republiki Sloveniji. Družba za avtoceste Republike Slovenije. Ljubljana.
- Dolenc, D. 2000: Delovne migracije v Sloveniji. Statistični dnevi 2000. Zbornik del. Radenci.
- Drobne, S. 2003: Modelling accessibility fields in Slovene municipalities. SOR'07, 7th International Symposium on Operational Research in Slovenia. Podčetrtek.
- Drobne, S. 2005: Do administrative boundaries fit accessibility fields in Slovenia?. Environmental engineering: the 6th international conference. Vilnius.
- Drobne, S., Bogataj, M. 2005: Intermunicipal gravity model of Slovenia. SOR'05, The 8th International Symposium on Operational Research in Slovenia. Nova Gorica.
- Drobne, S., Bogataj, M. 2011: Accessibility and flow of human resources between Slovenian regions. Mathematical economics, operational research and logistics 11. Ljubljana.
- Drobne, S., Bogataj, M., Bogataj, L. 2008a: Spatial interactions influenced by European corridors and the shift of the Schengen border regime. KOI 2006, The 11th International Conference on Operational Research. Pula.
- Drobne, S., Bogataj, M., Lisec, A. 2008b: The Influence of Accessibility to Inter-Regional Commuting Flows in Slovenia. Taking Geoinformation Science one step further. Girona.
- Drobne, S., Bogataj, M., Paliska, D., Fabjan, D. 2005: Will the future motorway network improve the accessibility to administrative centres in Slovenia?. SOR'05, The 8th International Symposium on Operational Research in Slovenia. Nova Gorica.
- Drobne, S., Bogataj, M., Zupan, M., Lisec, A. 2011: Dynamics and local policy in commuting: attractiveness and stickiness of Slovenian municipalities. SOR'11, The 11th International Symposium on Operational Research in Slovenia. Dolenjske Toplice.

- Drobne, S., Konjar, M. 2011: Modeliranje funkcionalnih regij Slovenije s tokovi delavcev vozačev. Funkcionalne regije – Izzivi prihodnjega razvoja Slovenije. Ljubljana.
- Drobne, S., Paliska, D., Fabjan, D. 2004: Rastrski pristop dvostopenjskega modeliranja dostopnosti v GIS-u. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003–2004. Ljubljana.
- DRSC, 2011: Mreža državnih cest, Slovenija, letno. Družba Republike Slovenije za ceste. Ljubljana.
- Green, A., Coombes, M., Owen, D. 1986: Gender-specific local labour market areas in England and Wales. *Geoforum* 17-3.
- Haynes, K. E., Fotheringham, S. 1984: Gravity and spatial interaction models. Beverly Hills.
- Johansson, B. 1998: Infrastructure, Market Potential and Endogenous Growth. Jönköping (Mimeo). Sweden.
- Kozina, J. 2008: Prometna dostopnost kot kriterij regionalizacije Slovenije. Diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta. Ljubljana.
- Kozina, J. 2010: Transport accessibility to regional centres in Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 50-2. Ljubljana.
- Nacionalni programa izgradnje avtocest v Republiki Sloveniji. Uradni list Republike Slovenije 13/1996. Ljubljana.
- O'Connor, K. 1980: The analysis of journey to work patterns in human geography. *Progress in Human Geography* 4-4.
- Pavlin, B., Sluga, G. 2000: Ljubljana kot zaposlitveno središče. Ljubljana: geografija mesta. Ljubljana.
- Pečar, J. 2009: Mobilnost. Socialni razgledi 2008. Ljubljana.
- Pelc, S. 1988. Prometna dostopnost do delovnih mest in njen pomen pri urejanju prostora. Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta. Ljubljana.
- Poklukar, M. 2010: Vpliv izgradnje avtocest na mobilnost delavcev v Sloveniji v obdobju 2000–2008. Diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.
- Prashker, J., Shiftan, Y., Hershkovitch-Sarusi, P. 2008: Residential choice location, gender and the commute trip to work in Tel Aviv. *Journal of Transport Geography* 16-5.
- Resolucija o nacionalnem programu izgradnje avtocest v Republiki Sloveniji. Uradni list Republike Slovenije 50/2004. Ljubljana.
- Stewart, J. Q. 1941: An inverse distance variation for certain social influences. *Science* 93.
- Stewart, J. Q. 1942: A measure of the influence of population at a distance. *Sociometry* 5.
- Stewart, J. Q. 1948: Demographic gravitation: evidence and applications. *Sociometry* 11.
- SURS, 2012a: Delovno aktivno prebivalstvo (brez kmetov) po občinah prebivališča in občinah delovnega mesta po spolu, občine, Slovenija, letno. Statistični urad Republike Slovenije. Medmrežje: http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=0723405S&ti=&path=../Database/Dem_soc/07_trg_dela/05_akt_preb_po_regis_virih/10_07234_delovne_migracije/&lang=2 (6. 1. 2012).
- SURS, 2012b: Karte in šifranti osnovnih prostorskih enot. Upravno-teritorialna razdelitev, Statistični urad Republike Slovenije. Medmrežje: http://www.stat.si/tema_splosno_upravno_karte.asp (8. 2. 2012).
- SURS, 2012c: Prebivalstvo po velikih in petletnih starostnih skupinah in spolu, občine, Slovenija, polletno. Statistični urad Republike Slovenije. Medmrežje: http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=05C4004S&ti=&path=../Database/Dem_soc/05_prebivalstvo/10_stevilo_preb/20_05C40_prebivalstvo_obcine/&lang=2 (6. 1. 2012).
- Taylor, P. J. 1975: Distance Decay in Spatial Interactions. Concepts and Techniques in Modern Geography. London.
- Zavodnik Lamovšek, A., Drobne, S., Pichler-Milanović, N. 2009: Accessibility to public services as a tool to achieve the polycentric regional development in Slovenia. Thematic Conference Proceedings 1. Beograd.

MODELIRANJE GIBANJA IN DOSTOPNOSTI

dr. Dimitrij Mlekuč

Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani
dmlekuz@gmail.com

UDK: 91:659.2:004

IZVLEČEK

Modeliranje gibanja in dostopnosti

Časovna geografija so osredotoča na prostor in čas ter prakse, ki ju oblikujejo; poudarja pomen materialnega sveta in njegovih omejitev. Časovna geografija tako ponuja konceptualni in metodološki okvir za preučevanje gibanja, dostopnosti in interakcij, ki ga lahko implementiramo v GIS-ih. Prispevek razvija polje potencialnih poti – novo orodje, ki izhaja iz časovne geografije. Polje potencialnih poti meri povezanost, dostopnost celic v pokrajini in služi za razumevanje interakcij, gibanja in dostopnosti v pokrajini.

KLJUČNE BESEDE

gibanje, dostopnost, GIS, časovna geografija

ABSTRACT

Modelling of movement and accessibility

Time geography focuses on issues of spatiality, temporality and practices; it emphasises the importance of material world and its constraints. Time geography offers conceptual and methodological framework for study of movement, accessibility and interactions that can be implemented within a GIS. The paper develops a new tool based on time geographical concepts, potential path field, which measures the accessibility of cells in the landscape. This tool can be used for study of interactions, movement and accessibility in landscape.

KEY WORDS

movement, accessibility, GIS, time geography

1 Uvod

Gibanje in dostopnost sta dve plati istega pojava, če je gibanje fizični akt premikanja od izhodišča do cilja, dostopnost definira, kako je moč priti do cilja.

Modeliranje dostopnosti in gibanja v arheologiji s pomočjo orodij, kot so zaledja najdišč, optimalne poti in podobno, implicitno ali eksplicitno temeljijo na predpostavkah o racionalnem vedenju agentov ali principa najmanjšega stroška (*principle of least cost*). V prispevku želimo pokazati, da se je moč preteklemu gibanju in dostopnosti približati tudi brez takšnega teoretskega bremena. Za inspiracijo smo uporabili časovno geografijo, teorijo, ki povezuje časovno in prostorsko razsežnost bivanja v celoto. V prispevku predstavljamo novo orodje – polje potencialnih poti, ki služi za razumevanje interakcij, gibanja in dostopnosti v pokrajini.

2 Časovna geografija

Skozi gibanje se čas, prostor in prakse dialektično prepletajo med seboj. Vse te teme obravnava časovna geografija, ki jo je od 70-ih let 20. stoletja oblikoval Torsten Hägerstrand in sodelavci na univerzi v Lundu (Hägerstrand 1970; 1973; 1975; 1976; Pred 1977). Časovna geografija ponuja konceptualni okvir za razumevanje človeškega gibanja v prostoru in času in se osredotoča na fizične omejitve telesnega bivanja v prostoru in času, kot so dejstvo, da nihče ne more biti na dveh krajih ob istem času ali v istem trenutku opravljati več opravil, da premikanje zahteva čas in da vsi dogodki izhajajo iz preteklih dogodkov (Hägerstrand 1975; Pred 1977).

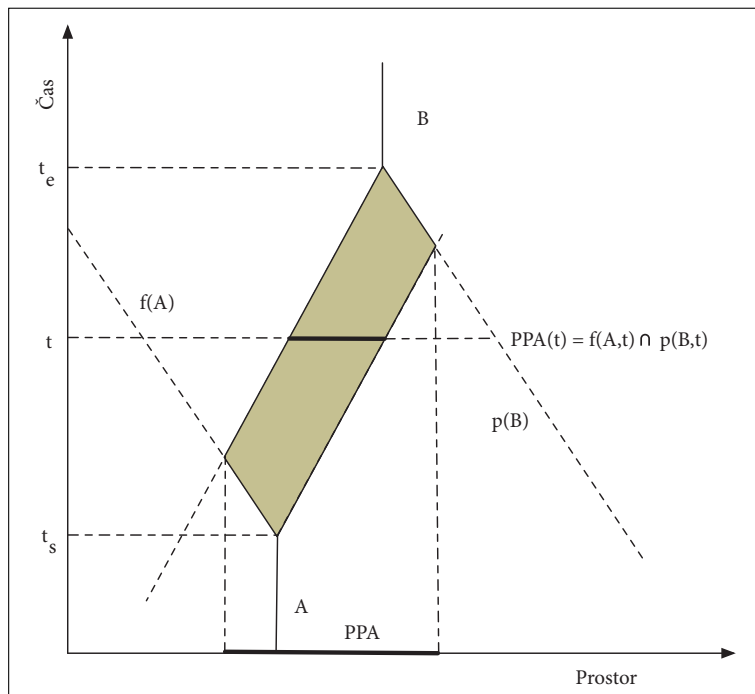
Časovna geografija je razvila množico analitičnih orodij za preučevanje, kako omejitve strukturirajo vsakdanje življenje. Najpomembnejši koncept je prostor-čas, omejen trirazsežen prostor, kjer širina in dolžina predstavljata prostor, višina pa čas. Premikanje vsakega telesa (predmeta, snovi, človeka ali živali) lahko opišemo z prostorsko-časovno sledjo ali trajektorijo, ki opiše pot telesa v prostoru in času. Prostor in čas sta tako povezana v enoten koncept.

Veliko bolj kot izolirane sledi so zanimivi prostorsko-časovni vzorci, ki vzniknejo iz interakcij in odnosov med telesi. Ta »koreografija bivanja« (Pred 1977) nastane, ko gibanje agentov oblikuje mrežo odnosov, ki ustvarjajo nove omejitve. Da bi lahko dva agenta opravila skupno aktivnost, se morata njuni prostorsko-časovni sledi združiti. Dostopnost stvari, orodij in opreme še dodatno omejuje prostor-čas, kjer se sledi lahko združita. Tako se iz množice omejitev oblikujejo stabilni prostorsko-časovni vzorci. Gibanje tako ni izoliran pojav, temveč del širšega vzorca interakcij.

Prostorsko-časovna razmerja med stvarmi in agenti v najširšem smislu vzajemno vplivajo in igrajo aktivno vlogo pri oblikovanju poti v prostor-času. Hägerstrand (1976, 332) to imenuje »princip vzajemnosti« (*principle of togetherness*), kjer je gibanje vsake snovi, predmeta ali agenta hkrati povezuje in se prepleta z gibanjem mnogo drugih predmetov, snovi ali agentov; gibanje je tako rekurzivna in generativna praksa.

3 Gibanje, dostopnost in geografski informacijski sistemi

Gibanje običajno modeliramo z pomočjo modeliranja stroškovnih površin (*cost surface*) in računanjem optimalnih poti (*least cost pathways*) med ciljem in izhodiščem (Bell in Lock 2000, 86). Kumulativna stroškovna površina je zvezna ploskev, kjer vrednost rastrske celice temelji na vsoti stroška ali težavnosti gibanja prek celic od izhodišča. Strošek lahko izrazimo kot čas ali energijo, potrebno za prečkanje celice. Optimalno pot iz izhodišča kumulativne stroškovne površine do cilja izračunamo s pomočjo katerega od optimizacijskih algoritmov, najobičajnejši je Dijkstra algoritem najkrajše poti (*shortest path algorithm*, Dijkstra 1959). Oblike optimalnih poti so zelo občutljive na izbrani algoritem in funk-



Slika 1: Formalna definicija prostorsko-časovne prizme med točkama A in B, kjer je t_s začetni čas, t_e je končni čas aktivnosti, torej je $t_e - t_s$ časovna zaloga; $f(A)$ je prihodnja prizma iz izhodišča A, $p(B)$ pa pretekla prizma cilja B. Območje potencialnih poti v času t , $PPA(t)$, je definirano kot presek prihodnje in pretekle prizme v času t . Polje potencialnih poti prizme je tako unija $PPA(t)$, kjer je $t_s < t < t_e$ (Harvey 2005).

cijo, ki definira strošek prehoda celice. Poti se lahko precej razlikujejo med seboj. Optimalne poti, predstavljene kot črte ali zaporedja celic, so videti zelo natančne, vendar je njihova točnost vprašljiva.

Menimo, da je moč analize stroškovnih površin pri razumevanju preteklega gibanja in dostopnosti uporabiti na mnogo manj determinističen način. Za navdih sem se obrnil k časovni geografiji.

Bodoče poti agenta v prostor-času se cepijo v različne smeri. Omejene so zgolj z omejitvami, kot so največja hitrost, ki jo je agent zmožen, način transporta, čas, ki je agentu na voljo in podobno. Agent ima na voljo časovno zalogo (*time budget*), časovni interval, znotraj katerega lahko opravi pot in aktivnosti. Prostorsko-časovna prizma tako opiše volumen v prostor-času, znotraj katerega lahko ali morajo ostati vse bodoče sledi agenta. Njeno obliko in volumen jo določajo zgolj agentove omejitve. Prostorsko-časovna prizma opiše dostopnost prostora (in časa) za agenta; osredotoča se zgolj na možnosti in omejitve, in ne na vedenje kot tako. Tako je koncept nevtralen in splošen, saj opisuje osnovne lastnosti bivanja v materialnem svetu (Lentrop 2004). Prostorsko-časovno prizmo lahko opišemo med dvema točkama v prostor-času: izhodiščem in ciljem. Točki sta lahko različni, lahko je ena izmed njih nezna, ali pa je izhodišče enako cilju (Harvey 2006).

Projekcija prostorsko-časovne prizme na ravnino je območje potencialnih poti (*potential path area*), prostor, kjer se agent znotraj svoje časovne zaloge lahko nahaja. V GIS-ih jo modeliramo kot binarni rastrski sloj, kjer vrednosti kažejo prisotnost znotraj prostorsko-časovne prizme (slika 1).

Običajna uporaba stroškovnih površin v arheologiji, kot je določanje izohronih linij okoli najdišč (Gaffney and Stančić 1993), so tako območja potencialnih poti prostorsko-časovnih prizem, kjer se agenti

znotraj časovne zaloge vrnejo na izhodišče. Tovrstne analize lahko opravimo z orodji, ki so del večine programov GIS-ov.

Območja potencialnih poti so najsplošnejši način opisovanja gibanja in dostopnosti. Osredotočajo se zgolj na omejitve, ki delujejo na agenta in tako opisujejo, kje se gibanje lahko zgodi. Tako so zelo nenatančne, saj ne opisujejo konkretnega gibanja, vendar tudi zelo točne, saj zelo verodostojno opisujejo prostor, kjer se gibanje lahko zgodi.

Območja potencialnih poti sama po sebi niso pretirano zanimiva in uporabna. Sestavljamo jih lahko v bolj zanimive in zapletene analize. Najpreprostejše so kumulativna območja potencialnih poti, kjer vrednost vsake celice označuje, iz koliko izhodišč je celica dostopna znotraj časovne zaloge agenta. S spreminjanjem časovne zaloge lahko opazujemo njen učinek na dostopnost pokrajine in tako ugotavljamo, kako dostopni so deli pokrajine iz različnih izhodišč, identificiramo prostore, kjer pokrajina omogoča interakcijo in kje je potrebna večja časovna zaloga, da bi do interakcije prišlo. Na ta način lahko identificiramo tudi ne-dogodke ali dogodke, ki preprečujejo, da bi do dogodkov ali interakcij prišlo (Pred 1977, 210)

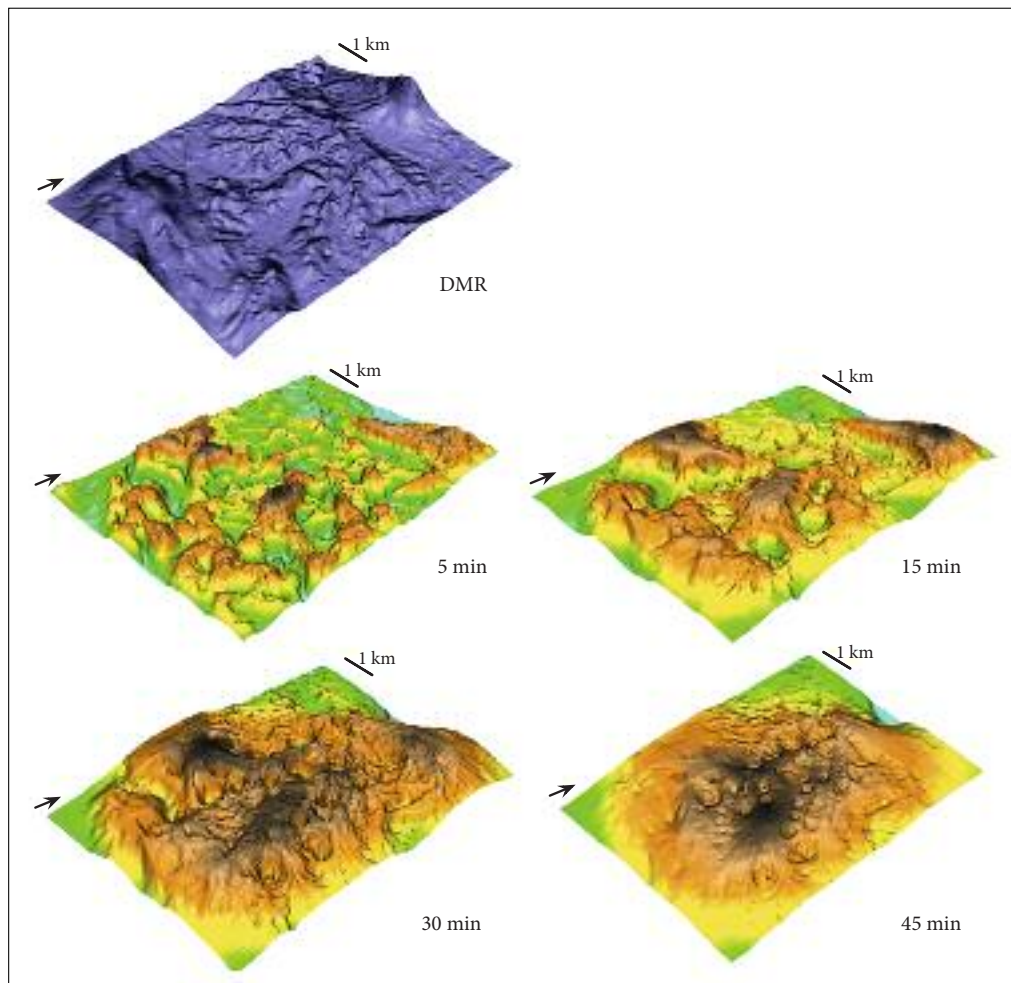
Idejo kumulativnih območij potencialnih poti lahko posplošimo tako, da je izhodišče vsaka celica v pokrajini. Polje potencialnih poti izračunamo tako, da seštejemo območja potencialnih poti s konstantno časovno zalogo iz vsake celice v pokrajini. Rezultat je kontinuirana rastrska površina, kjer vrednost celice kaže, koliko celic je dostopnih znotraj časovne zaloge. Vsaka točka ima tako vsaj vrednost 1, običajno pa mnogo več. Celice z višjimi vrednostmi so dostopne iz več drugih celic oziroma lahko dostopajo do več drugih celic kot celice z nižjimi vrednostmi.

Izračun polja potencialnih poti je računsko izjemno zahteven postopek. Računalnik mora izračunati kumulativno stroškovno površino za vsako celico študijskega območja in jih nato sešteti skupaj. Zato smo za izračun polja potencialnih poti razvili namensko napisan program, ki teče na superračunalniškem grozdu Iridis 3 Univerze v Southamptonu. Superračunalnik Iridis 3 je v času pisanja tega besedila 74. na svetu po računski moči, saj zmore okoli 72 TFlops. Sestavlja ga 1008 vozlišč (računalnikov) s po dvema 4-jedrnima procesorjema. Poganja ga operacijski sistem GNU Linux. Algoritem za izračun polja potencialnih poti smo paralelizirali tako, da izračun poteka vzporedno na več jedrih. Študijsko območje razdeli na manjše območja, ki se deloma prekrivajo; vsak vzporedni proces izračuna polje potencialnih poti za podobno območje na svojem jedru. Ko so vsi procesi končani, njihove rezultate sešteje. Za izračun stroška premikanja čez celico smo uporabili Toblerjevo pohodniško formulo (Tobler 1993), kjer strošek izrazimo v sekundah, ki jih agent rabi za prehod celice. Izračunali smo polje potencialnih poti za 5-, 15-, 30- in 60-minutno časovno zalogo (slika 2). Za izračun polja potencialnih poti študijskega območja dimezij 6712,5 krat 9012,5 m in ločljivosti 12,5 m (slika 2) smo z 32 vzporednimi procesi rabili 13,47 ure; z enim procesom bi za izračun rabili okoli 431 ur (18 dni).

Polje potencialnih poti je težko interpretirati. Dajo nam novo pogled na pokrajino, ki temelji na njeni notranji dostopnosti, saj ne opisuje posameznih, izoliranih dejanj gibanja ali gibanja med specifičnimi lokacijami. Identificira območja, ki so bolj dostopna in omogoča razumevanje aktivne vloge pokrajine pri strukturiranju praks in gibanja v njej. Imenujemo ga lahko tudi topografija dostopnosti.

S spreminjanjem časovne zaloge lahko raziskujemo razmerje med omejitvami, ki jih postavlja časovna zaloga, in omejitvami, ki jih postavlja pokrajina sama. Topografija dostopnosti je zelo odvisna od časovne zaloge. Z manjšo časovno zalogo so absolutne vrednosti nižje, saj lahko dosežemo manjše število celic. Lokalne razlike imajo tako velik vpliv na topografijo dostopnosti. Ko časovno zalogo povečujemo, postajajo vrednosti absolutno večje, vendar tudi razlike med posameznimi lokacijami manjše, topografija dostopnosti postaja bolj mehka, saj se bližnje lokacije vse manj razlikujejo v dostopnosti. Na ta način lahko opazujemo vznikanje vzorcev dostopnosti v velikem merilu, kot so koridorji, bazeni in ovi-re (slika 2).

Topografija dostopnosti tako meri povezanost vsake celice do drugih celic, dostopnih znotraj časovne zaloge. Višje smo na topografiji dostopnosti, več celic je dostopnih znotraj časovne zaloge. Dviganje pomeni pridobivanje na dostopnosti in hitrosti gibanja. Tako lahko topografijo dostopnosti analiziramo s pomočjo morfometričnih parametrov, kot so naklon, orientacija in značilnosti topografije.

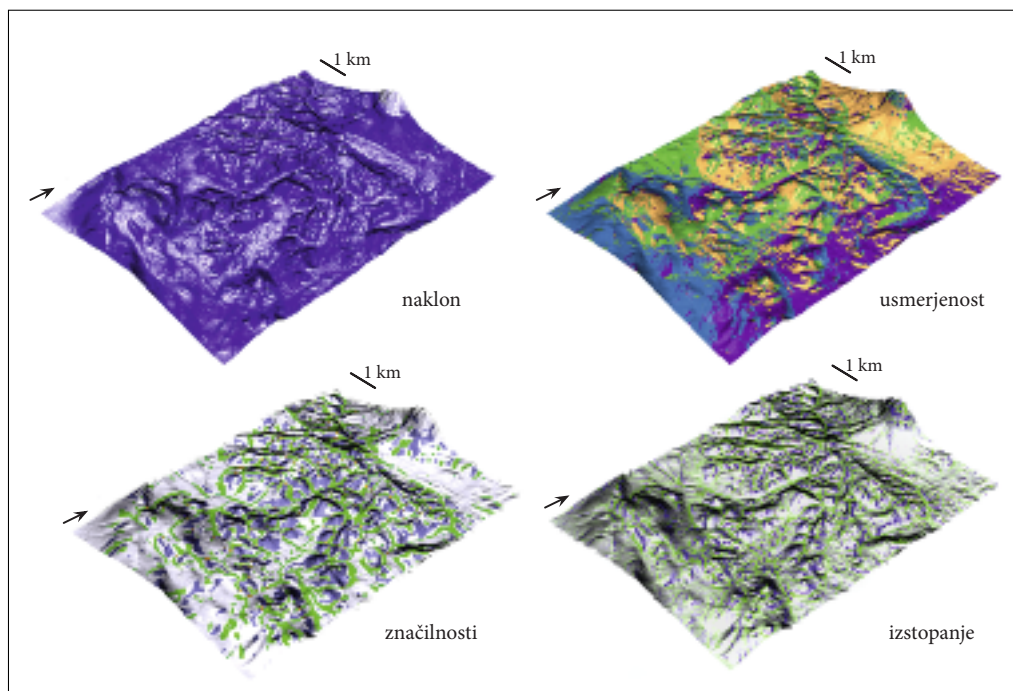


Slika 2: Digitalni model višin (DMV 12,5) območja prelaza Razdrto in polja potencialnih poti za 5-, 15-, 30- in 45-minutno časovno zalogo.

Naklon topografije dostopnosti (ali prvi odvod polja potencialnih poti) kaže spremembo v hitrosti gibanja. Večja kot je strmina, hitrejša je sprememba hitrosti. Ravna območja so območja, kjer hitrost ostaja nespremenjena. Usmerjenost je smer, kjer je sprememba v dostopnosti največja.

S pomočjo morfometričnih parametrov lahko topografijo razdelimo v značilnosti, kot so jame, vrhove, doline, sedla in ravnine. Imena sugerirajo geomorfološke interpretacije, a jih moramo razumeti v smislu sprememb v dosegljivosti treh ortogonalnih komponent polja potencialnih poti. Jame so lokalni minimumi v dosegljivosti, lokalno najslabše povezane celice, medtem ko so vrhovi lokalno najbolj povezane celice. Grebni povezujejo dobro povezane celice in so tako naravni koridorji gibanja, doline pa so slabo povezane celice. Sedla povezujejo grebena in so prostori, kjer je moč prečkati slabo povezane doline. Tako jih lahko razumemo kot ozka grla, ki usmerjajo gibanje.

Filter izstopanja (*prominence filter*, Llobera 2001) vrne razliko v dostopnosti med celico in celicami znotraj poljubno definirane okolice. Izstopanje v dosegljivosti tako lahko definiramo kot delež celic,



Slika 3: Morfometrične analize (naklon, usmerjenost, značilnosti topografije in izstopanje) polja potencialnih poti s 15-minutno časovno zalogo, napete na digitalni model višin.

ki so manj dosegljive znotraj okolice. Na ta način filter izstopanja izolira dele pokrajine, ki so bolj dosegljive od svojih sosed. Pokrajina tako strukturira v mrežo dobro povezanih lokacij, koridorjev, poti in povezav in otokov slabše dosegljivih celic (slika 3).

4 Sklep

Časovna geografija so osredotoča na prostor, čas in prakse, ki ju oblikujejo; poudarja pomen materialnega sveta in njegovih omejitev. Časovna geografija tako ponuja konceptualni in metodološki okvir za preučevanje gibanja, dostopnosti in interakcij, ki ga lahko implementiramo v GIS-e.

Okvir časovne geografije pomaga razumeti omejitve, ki jih čas in prostor postavljata interakcijam med ljudmi in drugimi agenti. Govori zgolj o možnostih, o omejitvah, ne ponuja nam natančnih toda netočnih rezultatov, kot na primer optimalne poti. Časovna geografija ni zgolj opis dogodkov v prostoru in času, temveč ponuja možnost globljega razumevanja osnovnih premis družbenih procesov, ki se dogajajo v prostoru in času (Lenntrop 2004, 223).

V prispevku smo razvili orodje, polje potencialnih poti, ki služi razumevanju, kako reliefne značilnosti pokrajine omogoča ali omejuje interakcije in dostop, kako je pokrajina strukturirana s praksami in kako sama strukturira prakse.

Orodje, predstavljeno v prispevku, seveda ne producira neproblematičnih rezultatov, reprezentacij gibanja in dostopnosti. Menimo, da je treba ta orodja razumeti in uporabljati kot odprte, raziskovalne prakse, ki ustvarjajo mnogo več od statičnih reprezentacij. Te prakse poustvarjajo prakse iz preteklosti in omogočajo, da povežemo naše prakse modeliranja z gibanjem in interakcijami v preteklosti.

5 Viri in literatura

- Bell, T., Lock, G. 2000: Topographic and cultural influences on walking the ridgeway in later prehistoric times. *Beyond the map: Archaeology and spatial technologies*. Amsterdam.
- Digitalni model višin 12,5. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2005.
- Dijkstra, E. W. 1959: A note on two problems in connection with graphs. *Numerische Mathematik* 1. Göttingen.
- Gaffney, C., Stančič, Z. 1993: GIS approaches to regional analysis: a case study of the island of Hvar. Ljubljana.
- Hägerstrand, T. 1970: What About People in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association* 24. Philadelphia.
- Hägerstrand, T. 1973: The domain of human geography. *Directions in geography*. London.
- Hägerstrand, T. 1975: Space, Time and Human Conditions. *Dynamic Allocation of Urban Space*. Lexington.
- Hägerstrand, T. 1976: Geography and the study of interaction between society and nature. *Geoforum* 7, 5–6. Manchester.
- Lenntrop, B. 2004: Path, Prism, Project, Pocket and Population. *Geografiska Annaler, series B*, 86-4. Lund.
- Llobera, M. 2001: Building Past Landscape Perception With GIS: Understanding Topographic Prominence. *Journal of Archaeological Science* 28. Austin.
- Miller, H. J. 2005: A Measurement Theory for Time Geography. *Geographical Analysis* 37. Columbus.
- Pred, A. 1977. The Choreography of Existence: Comments on Hägerstrand's Time-Geography and Its Usefulness. *Economic Geography* 53-2. Worcester.
- Tobler, W. 1993: Non-isotropic geographic modelling. Technical Report 93-1. Santa Barbara.

SPREMEMBE FUNKCIONALNIH REGIJ SLOVENIJE MED LETOMA 2000 IN 2009

mag. Samo Drobne

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
samo.drobne@fgg.uni-lj.si

Mojca Maja Lavrič

mojca.lavric@siol.com

UDK: 913:331.556.48(497.4)

IZVLEČEK

Spremembe funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2000 in 2009

Funkcionalna regija je regija, za katero je značilna visoka frekvenca notranjih regionalnih gospodarskih interakcij. V prispevku predstavimo spremembe funkcionalnih regij Slovenije na makro in submakro ravni v letih 2000 do 2009. Funkcionalne regije smo modelirali po pristopu hierarhičnega razvrščanja v skupine po metodi Intramax z analizo medobčinskih tokov delavcev vozačev. Sisteme treh, petih, sedmih in dvanajstih funkcionalnih regij v državi smo primerjali po letih glede na površino, število prebivalcev, število občin v regiji ter obliko funkcionalne regije.

KLJUČNE BESEDE

regija, funkcionalna regija, delavci vozači, dnevni migranti, vožnja na delo, Intramax, 2000–2009, Slovenija

ABSTRACT

Change of functional regions of Slovenia in 2000–2009

A functional region is a region characterised by a high frequency of intraregional economic interaction. In the paper, the change of the functional regions is presented at macro and sub-macro level in Slovenia in 2000–2009. Functional regions were modelled by hierarchical clustering approach using the Intramax method and the inter-municipal flows of labour commuters. We analysed the changes of three, five, seven and twelve functional regions in the country by area, population and number of municipalities in the region, as well as the shape index of functional region.

KEY WORDS

region, functional region, labour commuters, commuting, Intramax, 2000–2009, Slovenia

1 Uvod

Funkcionalna regija je območje z opredeljenim središčem, katerega izbrana lastnost se z oddaljevanjem od središča zmanjšuje. Regijo imenujemo funkcionalna regija, kadar se med središčem regije in ostalimi deli regije odvija vsaj ena zvrst prostorske interakcije, ki območje povezuje v funkcionalno celoto. V splošnem je za funkcionalno regijo značilna visoka frekvenca notranjih regionalnih gospodarskih interakcij, kakršne so regionalna trgovina dobrin in storitev, delovna mobilnost ter nakupovanje (Johansson 1998). V primerjavi z ostalimi tipi regij pri funkcionalnih regijah ne obravnavamo posebej geografskih danosti in zgodovinskih povezav (Vanhove in Klaasen 1987), temveč se usmerjamo na funkcionalno povezanost.

Funkcionalne regije najpogosteje določimo na podlagi lokalnih trgov dela LLMs (*local labour markets*) in zaposlitvenih sistemov, ki jih sestavljajo lokalni trgi delovne sile in delovnih mest. V tem primeru naj bi v funkcionalni regiji povpraševanju po delu ustrezala podobno velika ponudba delovnih mest (van der Laan in Schalke 2001; Karlsson in Olsson 2006). Pri oblikovanju funkcionalne regije sta pomembna središče gospodarskih dejavnosti in zaledje, okolica, ki je opredeljena s povezanostjo do izbranega središča. Pri različnih analizah funkcionalnih regij imata pomembno vlogo tako središče kot moč zaledja. Funkcionalna regija je največkrat sestavljena iz enega ali več središč in pripadajočega zaledja (Karlsson 2007). Velikost funkcionalne regije je pri takem pristupu pomemben kazalec velikosti in pomembnosti trga dela. Na velikost funkcionalne regije vpliva predvsem privlačnost središča za posameznika ali investitorja. Posameznik bo pri odločitvi o kraju zaposlitve upošteval predvsem tip dela, višino plače, možnosti in stroške prevoza na delo in čas, ki ga bo porabil za pot do dela. Vsakršna sprememba teh danosti lahko spremeni območje funkcionalne regije (Karlsson in Olsson 2006).

Prevladujoči koncept pri določevanju funkcionalnih regij temelji na analizi podatkov o delavcih vozačih (Smart 1974; Coombes s sodelavci 1986; Casado-Diaz 2000; Andersen 2011; OECD 2002; Karlsson in Olsson 2006; Cörvers s sodekavci 2009; Farmer in Fotheringham 2011). Karlsson in Olsson (2006) ločita tri pristope določevanja funkcionalnih regij na osnovi podatkov o mobilnosti delavcev vozačev:

- po (a) pristopu lokalnega trga dela (*local labour market approach*) razmejimo funkcionalne regije s pomočjo enosmernih tokov dnevne mobilnosti delavcev med dvema prostorskima enotama (na primer občinama);
- po (b) pristopu območij delovne mobilnosti (*the commuting zone approach*) razmejimo funkcionalne regije s pomočjo obojestranskih tokov dnevniških vozačev;
- po (c) pristopu dostopnosti (*accessibility approach*) pa opredelimo funkcionalne regije glede na dostopnost med lokacijami.

Dostopnost lahko obravnavamo z vidika podjetja oziroma delodajalca, ki ga zanima dostopnost do delovne sile, in/ali z vidika delavcev, za katere so pomembne informacije o številu in dostopnosti delovnih mest.

Po omenjenih pristopih pa so se razvile različne metode modeliranja funkcionalnih regij. Farmer in Fotheringham (2011) ločita tri skupine metod funkcionalne regionalizacije prostora:

- (a) metode hierarhičnega razvrščanja v skupine (*hierarchical clustering*), katerih izvor sega v 1970-ta leta in ki vključujejo analitične tehnike markovskih verig kot so jih predlagali Brown in Holmes (1971), Masser in Brown (1975; 1977) ter Masser in Schauerwater (1980);
- (b) metode večstopenjske agregacije (*multistage aggregation*) temeljijo na algoritmu, ki so ga predlagali Coombes in sodelavci (1986), in njegovih izpeljankah, primeri so v (van der Laan in Schalke 2001; Drobne in sod. 2009a; Konjar in sod. 2010); in
- (c) metode agregacije na centralne kraje (*central place aggregation*), kjer so avtorji, na primer, Hensen in Cörvers (2003), Drobne s sodelavci (2009a; 2009b; 2010) ter Konjar s sodelavci (2010), nadgradili in aplicirali algoritem Karlsonna in Olssna (2006) za agregacijo tokov delavcev vozačev na urbana središča državnega in meddržavnega pomena.

Primere novejših študij funkcionalnih regij za tujino so izvedli Mitchell in sodelavci (2007) za Avstralijo, Feldman in sodelavci (2006), Bond in Coombes (2007) za Anglijo, Wales in Škotsko, Persyn in Torfs (2011)

za Belgijo, Sykora in Muliček (2009) za Češko, Papps in Newell (2002) za Novo Zelandijo, Cörvers in sodelavci (2009) za Nizozemsko, Karlsson in Olsson 2006 za Švedsko in Casado-Diaz (2000) za Španijo. Novejše študije funkcionalnih regij za Slovenijo pa najdemo v (Bajt 2010; Drobne in Konjar 2011; Drobne in Bogataj 2012; Drobne s sodelavci 2009a; 2009b; 2010; Konjar 2009; Konjar s sodelavci 2010; Pogačnik s sodelavci 2009; Zavodnik Lamovšek s sodelavci 2011).

V prispevku obravnavamo spremembe funkcionalnih regij na makro in submakro ravni Slovenije v letih 2000 do 2009. V ta namen smo modelirali sisteme treh, petih, sedmih in dvanajstih funkcionalnih regij ter primerjali njihovo spreminjanje v analiziranem obdobju. Število funkcionalnih regij smo izbrali izkustveno. Funkcionalne regije smo modelirali po metodi Intramax, ki je razložena v nadaljevanju. V prispevku najprej predstavimo uporabljene podatke in metodo dela, nato prikažemo modelirane sisteme funkcionalnih regij Slovenije v letih 2000 do 2009, na koncu pa rezultate ovrednotimo.

2 Metodologija

Delavec vozač (tudi delovni migrant) je zaposlena oseba, pri kateri teritorialna enota delovnega mesta ni enaka teritorialni enoti prebivališča. V tem prispevku analiziramo tokove delavcev vozačev med občinami Slovenije med letoma 2000 in 2009. Vir podatkov o tokovih delavcev vozačev je Statistični register delovno aktivnega prebivalstva (SRDAP), ki ga vodi Statistični urad Republike Slovenije (SURS 2012a). Število občin se je v analiziranem obdobju spremenilo dvakrat. V letih 2000 in 2001 je bilo v Sloveniji 192 občin, leta 2002 je nastala ena nova občina, v letu 2006 pa je bilo ustanovljenih še 17 novih občin. Do konca analiziranega obdobja je bila Slovenija upravno razdeljena na 210 občin; podrobneje o spremembah občin v (SURS 2012b).

Analizo in združevanje tokov delavcev vozačev med občinami ter modeliranje funkcionalnih regij smo izvedli po metodi Intramax. Metoda spada v skupino metod hierarhičnega razvrščanja v skupine. Metode hierarhičnega razvrščanja v skupine vključujejo razne analitične tehnike markovskih verig, kot so jih predlagali Brown in Holmes (1971), Masser in Brown (1975; 1977) ter Masser in Schuerwater (1980), vse pa temeljijo na Wardovih (1963) postopkih hierarhične agregacije.

Cilj metode Intramax je maksimizacija deleža znotraj skupine interakcij v vsaki stopnji hierarhičnega postopka razvrščanja v skupine z upoštevanjem variacije v vsotah vrstic in stolpcev matrike interakcij (Masser in Brown 1975; 1977). Metoda primerja dejanske s pričakovanimi tokovi. Pričakovani tok med analiziranimi območjema i (območje izvora) in j (območje ponora) izračunamo kot

$$a_{ij}^* = \frac{\sum_j a_{ij}}{\sum_i a_{ij}} \sum_i \sum_j a_{ij}, \quad (1)$$

kjer je $\sum_j a_{ij} = a_{i*}$ vsota i -te vrstice, $\sum_i a_{ij} = a_{*j}$ je vsota j -tega stolpca, $\sum_i \sum_j a_{ij} = n$ pa vsota vseh analiziranih tokov. Ničelna domneva za neodvisnost mejnih vsot vrstic in stolpcev je:

$$H_0 : a_{ij}^* = \frac{a_{i*} \cdot a_{*j}}{n}, \quad (2)$$

Po normalizaciji tokov v matriki interakcij, tako da je $n = 1$ in $a_{ij}^* = a_{i*} \cdot a_{*j}$, izračunamo merilo odstopanja opazovanega od pričakovanega toka med območjema i in j : $a_{ij} - a_{ij}^*$.

Ciljna funkcija algoritma hierarhičnega razvrščanja v skupine je po (Masser in Brown 1975, 1977):

$$\max I = (a_{ij} - a_{ij}^*) + (a_{ji} - a_{ji}^*), \quad i \neq j, \quad (3)$$

Avtorja sta vgradila v metodo Intramax tudi omejitev sosednosti, s čimer se izognemo primeru, da bi združili dve območji, ki nista sosednji.

Različica metode Intramax je vgrajena v program Flowmap (Breukelman in sod. 2009), s katerim smo modelirali funkcionalne regije Slovenije. Dve občini smo združili v skupino, za kateri je veljalo, da je ciljna funkcija tokov med njima maksimalna:

$$\max T = \frac{T_{ij}}{O_i \cdot D_j} + \frac{T_{ji}}{O_j \cdot D_i}, \quad O_i > 0 \text{ in } D_j > 0, \quad (4)$$

kjer je T_{ij} opazovani tok med občino izvora i in občino ponora j , $O_i = \sum_j T_{ij}$ je vsota vseh tokov iz občine izvora i , $D_j = \sum_i T_{ij}$ je vsota vseh tokov v občino ponora j . Ciljna funkcija (4) je izvedljiva za vse $D_j > 0$ (občine, v katere ni tokov, niso vključene v analizo) in $O_i > 0$ (občine, iz katerih ni tokov, niso vključene v analizo).

Po metodi Intramax združujemo občine po korakih. V vsakem koraku združimo po en par občin, za katerega velja (4) in katerih interakcija postane notranja interakcija novega, združenega območja. Če združujemo N občin v skupine potem v $N - 1$ koraku združimo vse analizirane, izhodiščne občine v eno samo, združeno regijo. Občine v Sloveniji smo združevali v sisteme treh, petih, sedmih in dvanajstih funkcionalnih regij, posebej za vsako analizirano leto (skupno 40 sistemov funkcionalnih regij). Število funkcionalnih regij v državi smo izbrali izkustveno.

Metoda Intramax je naletela tudi na kritiko. Coombes in sodelavci (1986) so metodo Intramax kritizirali kot »izključno statistično metodo«, ki ne omogoča prilagoditev regionalizacije geografskim razmeram. Menimo, da je metoda Intramax prav zaradi objektivne narave ena bolj primernih metod za modeliranje sistemov funkcionalnih regij, katerih spremembe analiziramo v času. Končni rezultati modeliranja funkcionalnih regij so tako odvisni samo od tokov delavcev vozačev – in ne od predhodno izbranih središčnih, samozadostnih občin.

Modelirane funkcionalne regije smo analizirali po številu prebivalcev, površini, številu občin v regiji ter po obliki. Indeks oblike funkcionalne regije smo izračunali po enačbi:

$$C = \sqrt{\frac{A}{B}} \quad (5)$$

kjer je A površina poligona obsega L in B površina kroga obsega L . Obseg L in površino A poligona smo izračunali v programskem orodju ArcGIS, površino kroga obsega L pa po znani enačbi:

$$B = \pi r^2 = \frac{L^2}{4\pi} \quad (6)$$

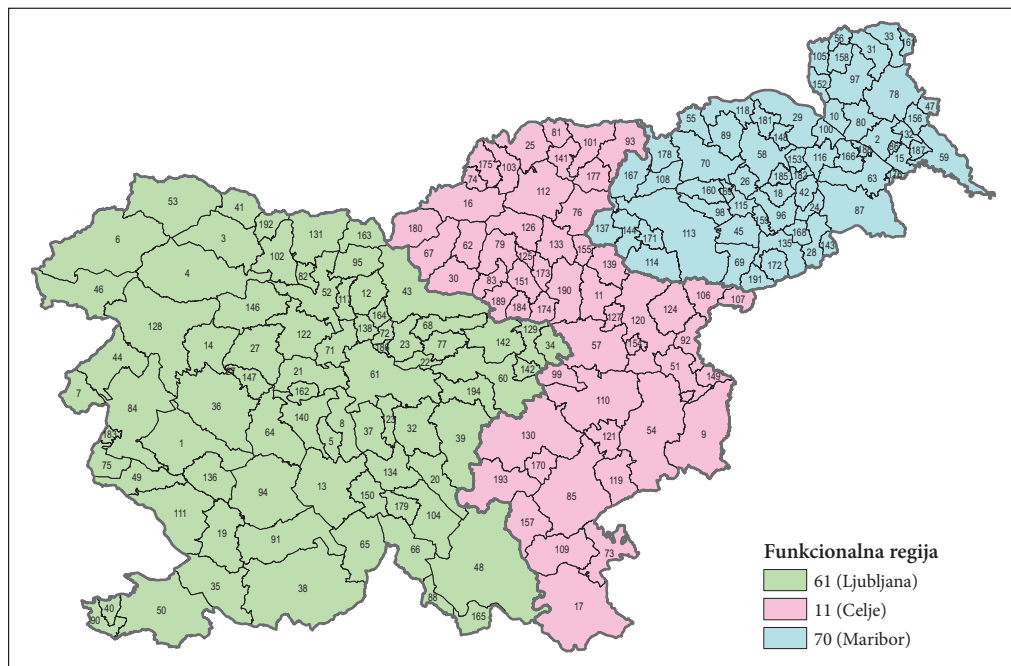
Indeks oblike podaja oblikovno skladnost funkcionalne regije. Bolj ko je funkcionalna regija skladna, višji je indeks oblike.

Zaradi prostorske omejitve podajamo v nadaljevanju le pomembnejše rezultate primerjalne analize omenjenih parametrov modeliranih funkcionalnih regij. Podrobne rezultate si zainteresiran bralec lahko ogleda v (Lavrič 2011).

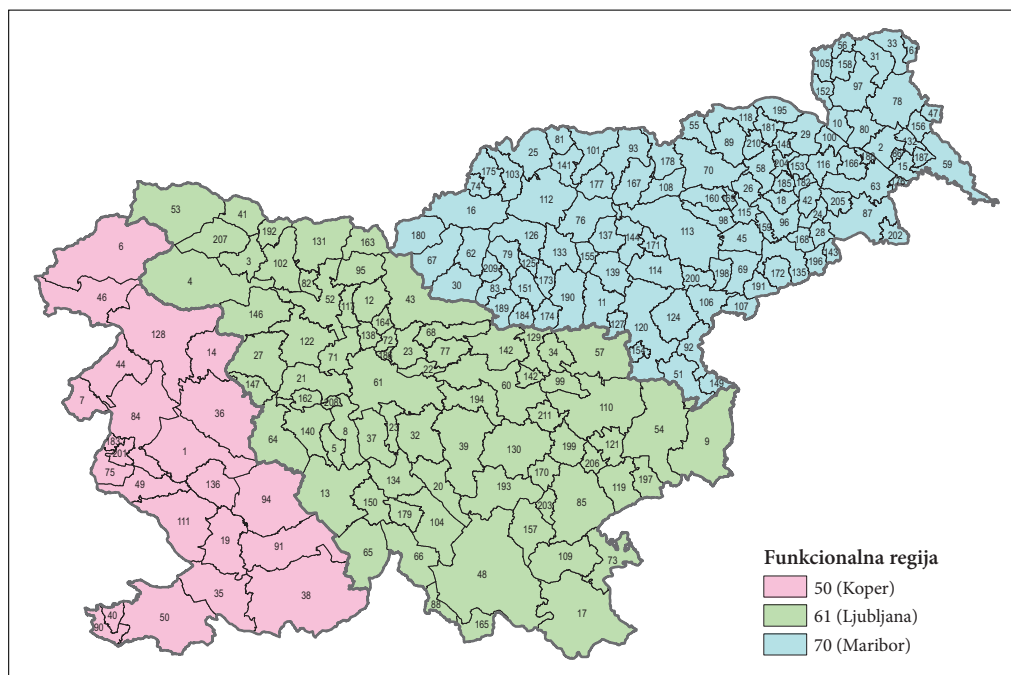
3 Rezultati

V nadaljevanju prikazujemo prevladujoče sisteme treh, petih, sedmih in dvanajstih funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2000 in 2009. Metoda Intramax razmeji funkcionalne regije analiziranega

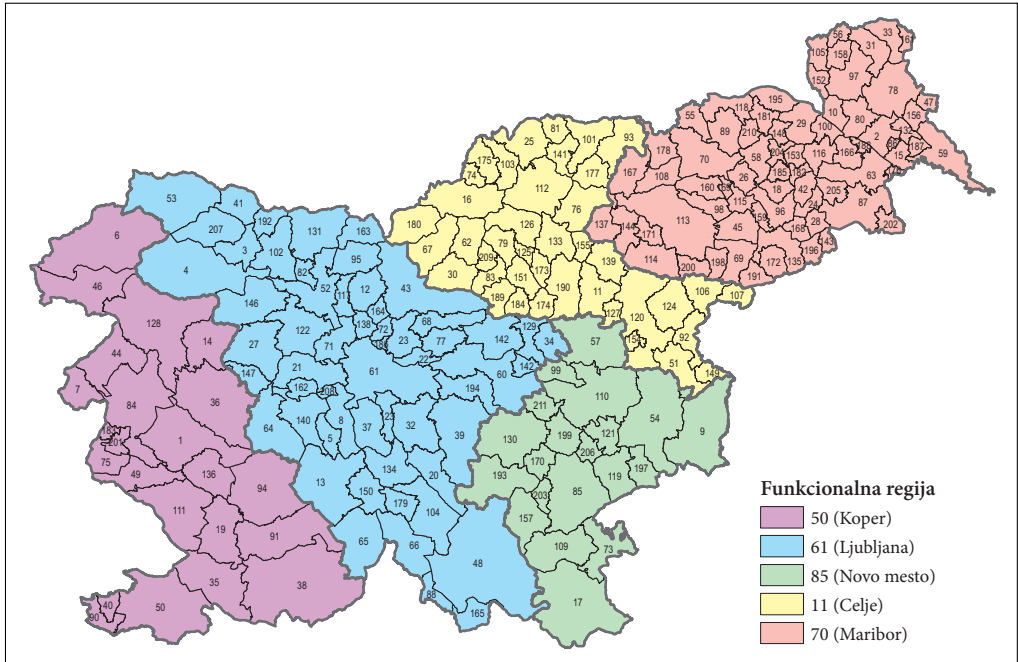
Spremembe funkcionalnih regij Sloveniji med letoma 2000 in 2009



Slika 1: Tri funkcionalne regije Slovenije med letoma 2000 in 2005.



Slika 2: Tri funkcionalne regije Slovenije med letoma 2006 in 2009.



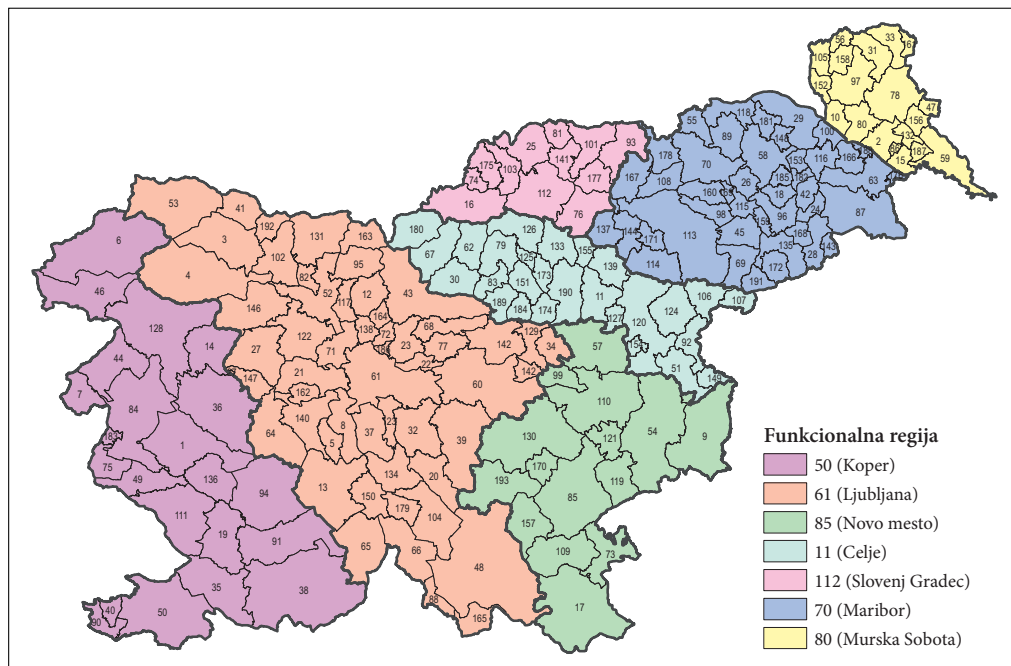
Slika 3: Pet funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2000 in 2009.

območja z združevanjem ustreznih občin glede na interakcije med njimi. Metoda ne izhaja iz središčne, samozadostne občine, temveč analizira le medsebojne tokove, v našem primeru tokove delavcev vozačev. Enolično opredelitev funkcionalnih regij smo izvedli s pomočjo šifre občine v funkcionalni regiji, v katero se je dnevno stekalo največ tokov delavcev vozačev (slike 1 do 10). Šifrant občin na slikah 1 do 10 je javno dostopen na (SUR5 2012b).

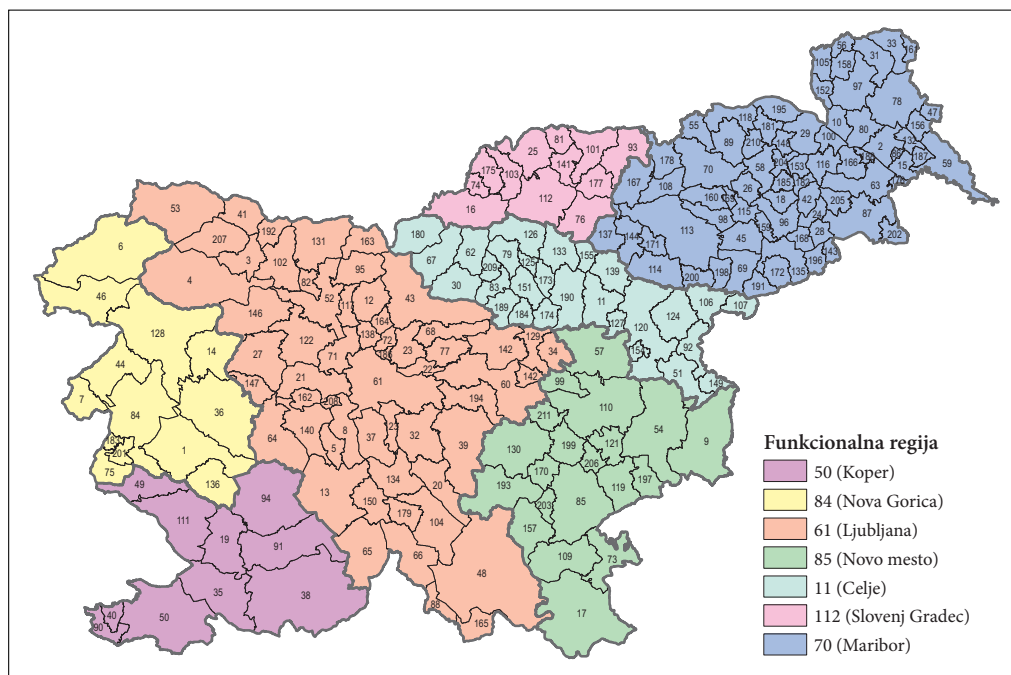
V primeru členitve Slovenije v tri funkcionalne regije, ugotovimo, da so se regije na makro ravni v desetletnem obdobju spremenile samo enkrat. V letih 2000 do 2005 so obstajale funkcionalna regija Ljubljana, Celja in Maribora (slika 1). Leta 2006 pa je vlogo funkcionalne regije Celja prevzela nova regija, to je funkcionalna regija Koper. Med letoma 2006 in 2009 je bila Slovenija členjena v tri funkcionalne regije: Ljubljansko, Mariborsko in Koprsko (slika 2). Funkcionalna regija Ljubljane je imela v celotnem analiziranem obdobju največjo površino ter največ prebivalcev (ves čas prek 50 % populacije v Sloveniji). V začetku analiziranega obdobja je bilo največ občin v funkcionalni regiji Ljubljane, na koncu pa v funkcionalni regiji Maribora, ki je vsebovala kar 111 občin. Analiza oblike regij s pomočjo indeksa oblike je pokazala največjo skladnost funkcionalne regije Ljubljane, sledi funkcionalna regija Maribora, nato pa funkcionalni regiji Celja oziroma Koper.

Členitev Slovenije v pet funkcionalnih regij je pokazala, da se le-te v analiziranem desetletnem obdobju niso spremenile. Na tej ravni so Slovenijo tvorile funkcionalne regije Koper, Ljubljane, Novega mesta, Celja in Maribora (slika 3). Največja po površini je bila funkcionalna regija Ljubljane, ki je imela tudi največ prebivalcev. Sledili sta regiji Maribora in Koper. Najmanjši po površini sta bili funkcionalni regiji Novega mesta in Celja. Enak vrstni red regij je zaslediti tudi pri primerjavi števila prebivalcev v funkcionalni regiji. Pomembna je ugotovitev, da je več kot tretjina prebivalcev Slovenije prebivala v funkcionalni regiji Ljubljane. Največ občin sta imeli regiji Ljubljane in Maribora, najmanj pa regija Novega mesta, ki se je po obliki izkazala tudi za najmanj skladno zasnovano funkcionalno regijo. Najvišji indeks oblike sta imeli regiji Ljubljane in Maribora.

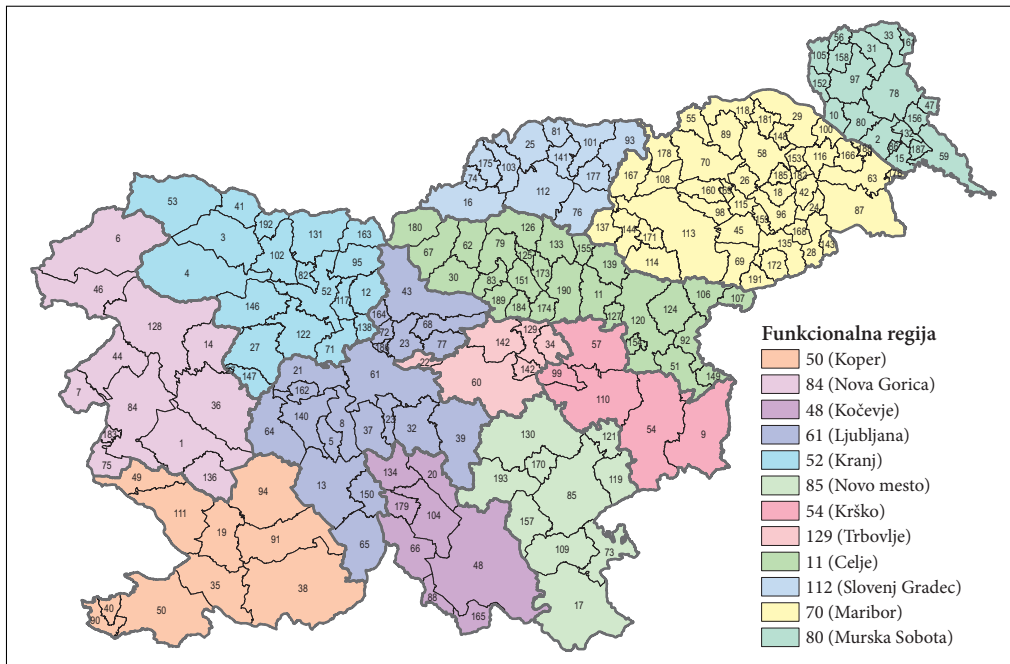
Spremembe funkcionalnih regij Sloveniji med letoma 2000 in 2009



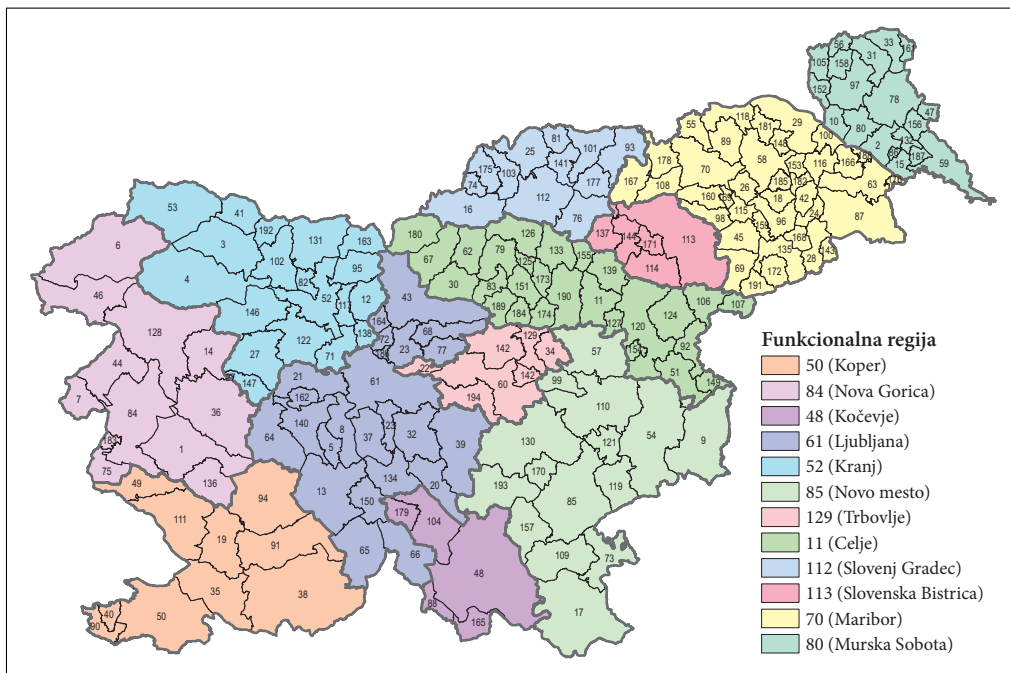
Slika 4: Sedem funkcionalnih regij Slovenije leta 2000.



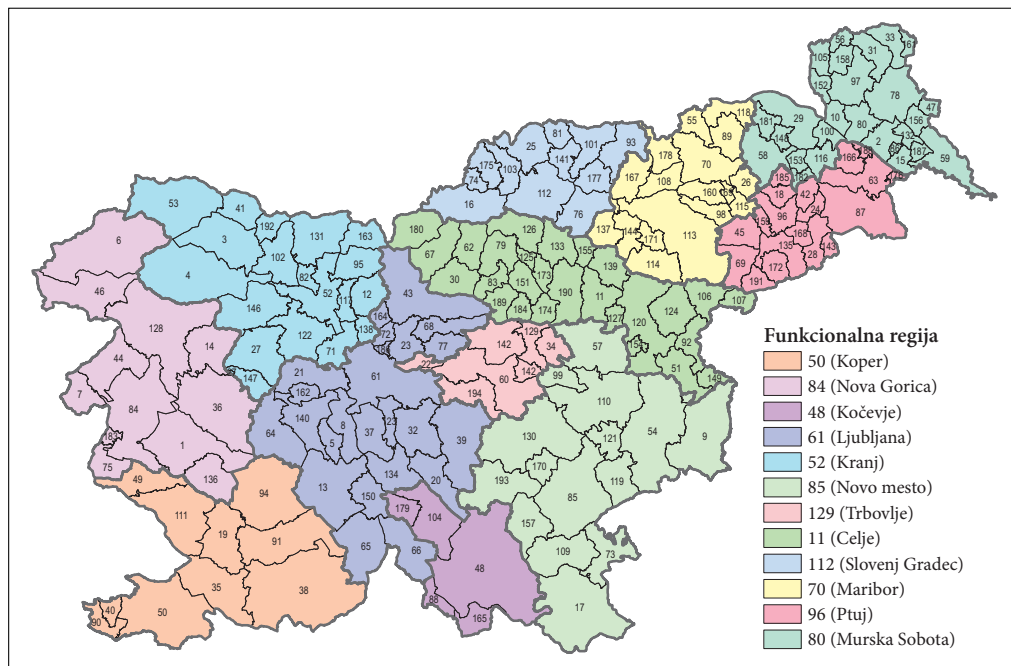
Slika 5: Sedem funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2001 in 2009.



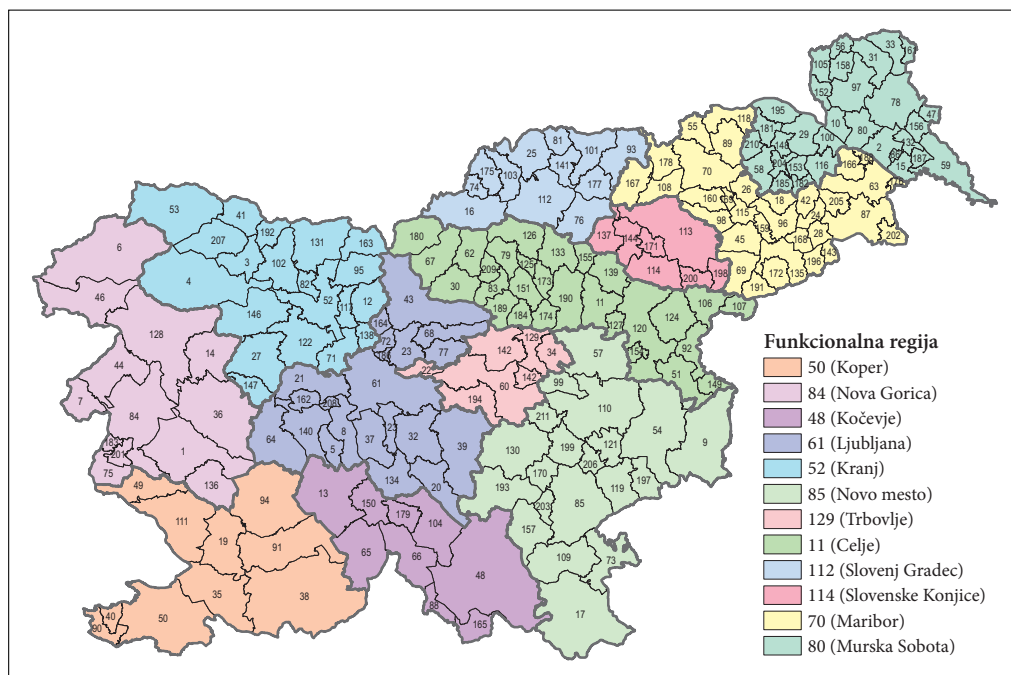
Slika 6: Dvanajst funkcionalnih regij Slovenije leta 2000.



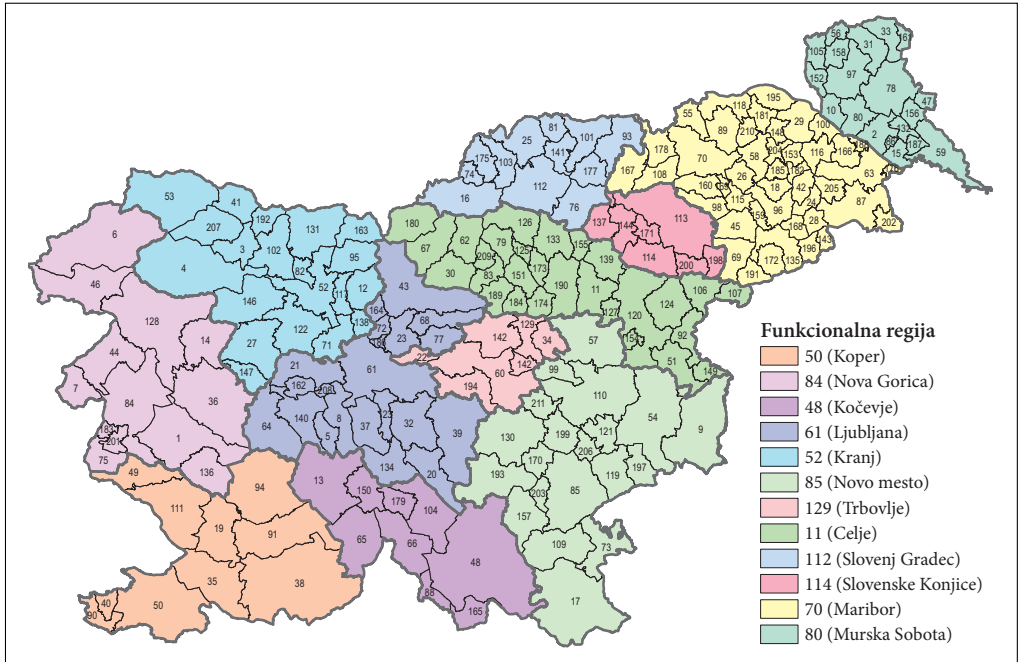
Slika 7: Dvanajst funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2001 in 2002.



Slika 8: Dvanajst funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2003 in 2004.



Slika 9: Dvanajst funkcionalnih regij Slovenije leta 2007.



Slika 10: Dvanajst funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2005 in 2006 ter 2008 in 2009.

Členitev Slovenije v sedem funkcionalnih regij je pokazala, da je pretežni del analiziranega obdobja (2001 do 2009) obstajal nespremenjen sistem sedmih funkcionalnih regij, ki so ga sestavljale regije Kopa, Nove Gorice, Ljubljane, Novega mesta, Celja, Slovenj Gradca in Maribora (slika 5). Samo leta 2000 so bili med občinami funkcionalne regije Murske Sobote močnejši tokovi delavcev vozačev kot kasneje med občinami funkcionalne regije Nove Gorice (primerjaj sliki 4 in 5). Funkcionalna regija Ljubljane je imela v celotnem analiziranem obdobju največjo površino, največ prebivalcev (njihovo število je od leta 2000 do leta 2009 vseskozi naraščalo), a nekoliko manjšo vrednost indeksa oblike. Funkcionalna regija Slovenj Gradca pa je imela najmanj prebivalcev, vendar je bila oblikovno najbolj skladno zasnovana. Funkcionalna regija Novega mesta je bila vseskozi oblikovno najmanj skladna.

Členitev Slovenije v dvanajst funkcionalnih regij je pokazala, da so bile nekatere funkcionalne regije v analiziranem desetletnem obdobju ves čas nespremenjene. Te regije so bile funkcionalne regije Slovenj Gradca, Celja, Trbovelj, Kranja, Nove Gorice in Kopa. Funkcionalne regije, ki so se paroma spreminjale, pa so bile regije Murske Sobote in Maribora ter Ljubljane in Kočevja. Samo leta 2000 sta bili območji funkcionalnih regij Novega mesta in Krškega razmejeni (slika 6), v preostalih letih pa območje funkcionalne regije Krškega pripada funkcionalni regiji Novega mesta. Od leta 2001 dalje se je pojavila funkcionalna regija Slovenske Bistrice, oziroma kasneje regija Slovenskih Konjic, katere tokovi so močnejši od tokov v dotedanji funkcionalni regiji Krškega. Samo za kratko obdobje, to je v letih 2003 in 2004, se pojavi funkcionalna regija Ptujja (slika 8), kar povzroči, da se v teh letih regija Maribora zmanjša in posledično regija Murske Sobote poveča. V letih 2003 in 2004 je območje funkcionalne regija Slovenske Bistrice vključeno regiji Maribora. Funkcionalni regiji Maribora in Murske Sobote se še enkrat v analiziranem desetletnem obdobju, to je leta 2007, izmenoma spremenita (slika 9). Leta 2005 se tokovi delavcev vozačev v dotedanji regiji Slovenske Bistrice spremenijo: pomembnejša od Slovenske Bistrice postane v isti funkcionalni regiji občina Slovenske Konjice. Funkcionalna regija Ptujja pa se od leta 2005

do konca analiziranega obdobja priključi funkcionalni regiji Maribora. Iz slik 9 in 10 je mogoče opaziti, da ostane funkcionalna regija Slovenskih Konjic do konca analiziranega obdobja nespremenjena.

Funkcionalna regija Novega mesta je bila nespremenjena ter po površini največja pretežni del analiziranega obdobja. Izjema je leto 2000, ko je imela regija Maribora največjo površino, največjo vrednost indeksa oblike in največ občin. Funkcionalna regija Ljubljane ima v vseh letih analiziranega obdobja največ prebivalcev, najmanj pa regija Kočevja. Oblikovno najmanj skladni sta bili v letih 2000 in 2002 do 2004 regija Ljubljane, v preostalih letih pa regija Novega mesta. Največjo vrednost indeksa oblike pa sta imeli v letih 2001 do 2002 in 2005 do 2009 funkcionalni regiji Slovenske Bistrice oziroma Slovenskih Konjic, v letih 2003 do 2004 pa funkcionalna regija Slovenj Gradca.

4 Sklep

Funkcionalno opredeljene regije so pogosto ogrode za izvajanje številnih državnih politik, razvoj državne uprave, spremljanje prostorskega razvoja ter za ugotavljanje razlik v prostoru. Velike ter stalne spremembe v prostoru narekujejo oblikovanje zapletenih ter dinamičnih regij, ki niso več nujno vezane na točno določeno zaključeno območje in ki povezujejo prostor tokov na smiselne, funkcionalno povezane celote. Tu se srečamo s pojavom novega regionalizma, ki funkcionalno regijo obravnava kot najprimernejšo enoto za ekonomske analize in kot najprimernejšo teritorialno sfero za interakcijo političnih, družbenih in ekonomskih procesov v obdobju in pogojih globalizacije (Tomaney in Ward 2000).

V prispevku smo predstavili spremembe funkcionalnih regij na makro in sub-makro ravni Slovenije med letoma 2000 in 2009. V ta namen smo modelirali izbrane sisteme treh, petih, sedmih in dvanajstih funkcionalnih regij Slovenije po pristopu območij delovne mobilnosti oziroma po metodi Intramax. Kot smo že ugotovili (Drobne in Konjar 2011), je glavna prednost te metode v tem, da ponuja regionalizacijo brez kakršnih koli predpostavk o središčnih občinah, na katere navezujemo občine v zaledju. Kljub temu pa dá metoda Intramax primerljive rezultate s funkcionalnimi regijami, zamejenimi okoli funkcionalno opredeljenih središčnih občin; primeri takšnih funkcionalnih regij za Slovenijo so v (Drobne in Konjar 2011; Drobne s sodelavci 2009a; 2009b; 2010; Konjar 2010; Konjar s sodelavci 2010).

Rezultati analize sprememb območij analiziranih sistemov funkcionalnih regij Slovenije med letoma 2000 in 2009 so pokazali, da spremembe tokov delavcev vozačev bistveno vplivajo na obliko (in sestavo) funkcionalnih regij. Tako so bili, na primer, na ravni treh funkcionalnih regij Slovenije v prvi polovici analiziranega obdobja (2000–2005) relativno močnejši medobčinski tokovi delavcev vozačev v okolici Celja, ki je v tem obdobju oblikovalo samostojno funkcionalno regijo, v drugi polovici analiziranega obdobja (2006–2009) pa so postali relativno močnejši tokovi na zahodu države, ko je funkcionalna regija Kopra prevzela vlogo ene izmed treh funkcionalnih regij v državi (prej samostojna funkcionalna regija Celja pa se je pripojila funkcionalni regiji Maribora). Podobne spremembe so se dogajale na ravni sedmih, še bolj intenzivno pa na ravni dvanajstih funkcionalnih regij v državi. Sistem petih funkcionalnih regij Slovenije je edini analizirani sistem funkcionalnih regij, ki je ves čas analiziranega obdobja ostal nespremenjen. V tem primeru gre za funkcionalne regije Kopra, Ljubljane, Novega mesta, Celja in Maribora.

Drobne in Konjar (2011) sta na primeru Slovenije pokazala, da izbrana metoda modeliranja funkcionalnih regij lahko bistveno vpliva na oblikovanje območij funkcionalnih regij. Sodobna računalniška orodja pa omogočajo modeliranje velikega števila sistemov funkcionalnih regij. Zato se je v sodobnem času pojavilo vprašanje primerne« števila funkcionalnih regij. Pristop vrednotenja števila in območij funkcionalnih regij v državi pa lahko najde zainteresiran bralec v (Drobne in Bogataj 2012).

5 Viri in literatura

- Andersen, A. K. 2002: Are commuting areas relevant for the delimitation of administrative regions in Denmark?. *Regional Studies* 36-8.
- Bajt, L. 2010: Primer informacijskega sistema za modeliranje funkcionalnih regij v Sloveniji. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta. Ljubljana.
- Bond, S., Coombes, M. 2007: 2001-based Travel-To-Work Areas Methodology. Office for National Statistics. London.
- Breukelman, J., Brink, G., de Jong, T., Floor, H. 2009: Manual Flowmap 7.3. Utrecht University, Faculty of Geographical Sciences. Utrecht.
- Brown, L. A., Holmes, J. 1971: The delimitation of functional distance approaches. *Journal of Regional Science* 11-1.
- Casado-Díaz, J. M. 2000: Local labour market areas in Spain: a case study. *Regional Studies* 34-9.
- Coombes, M. G., Green, A.W., Openshaw, S. 1986: An efficient algorithm to generate official statistical reporting areas: the case of the 1984 travel-to-work areas revision in Britain. *Journal of the Operational Research Society* 37-10.
- Cörvers, F., Hensen, M., Bongaerts, D. 2009: Delimitation and coherence of functional and administrative regions. *Regional Studies* 43-1.
- Drobne, S., Bogataj, M. 2012: Metoda opredelitve števila funkcionalnih regij: aplikacija na ravneh NUTS 2 in NUTS 3 v Sloveniji = A method to define the number of functional regions: an application to NUTS 2 and NUTS 3 levels in Slovenia. *Geodetski vestnik* 56-1. Ljubljana.
- Drobne, S., Konjar, M. 2011: Modeliranje funkcionalnih regij Slovenije s tokovi delavcev vozačev. Funkcionalne regije – Izzivi prihodnjega razvoja Slovenije. Ljubljana.
- Drobne, S., Konjar, M., Lisec, A. 2009a: Delimitation of Functional Regions Using Labour Market Approach. Proceedings of SOR'09, 10th International Symposium on Operational Research in Slovenia. Ljubljana.
- Drobne, S., Konjar, M., Lisec, A., Pichler Milanović, N., Zavodnik Lamovšek, A. 2010: Functional Regions Defined by Urban centres of (Inter)National Importance: case of Slovenia. Liveable, healthy, prosperous cities for everyone, Real Corp 2010: proceedings 2010, 15th International Conference on Urban planning, regional development and information society. Wien.
- Drobne, S., Lisec, A., Konjar, M., Zavodnik Lamovšek, A., Pogačnik, A. 2009b: Functional vs. Administrative regions: Case of Slovenia. Thematic Conference Proceedings 1. Belgrade.
- Farmer, C. J. Q., Fotheringham, A. S. 2011: Network-based functional regions. *Environment and Planning A* 43-11.
- Feldman, O., Simmonds, D., Troll, N., Tsang, F. 2006: Creation of a System of Functional Areas for England and Wales and for Scotland. Cambridge.
- Hensen M, Cörvers F, 2003: The regionalization of labour markets by modelling commuting behaviour. ERSA Conference Papers European Regional Science Association.
- Johansson, B. 1998: Infrastructure, Market Potential and Endogenous Growth. Jönköping (Mimeo).
- Karlsson, C. 2007: Clusters, Functional Regions and Cluster Policies. CESIS Electronic Working Paper Series. Stockholm.
- Karlsson, C., Olsson, M. 2006: The identification of functional regions: theory, methods, and applications. *The Annals of Regional Science* 40-1.
- Killian, M. S., Tolbert, C. M. 1993: Mapping social and economic space: the delineation of local labour markets in the United States. Inequalities in Labour Market Areas. Westview, Boulder.
- Konjar, M. 2009: Modeliranje zaposlitvenih sistemov Slovenije na osnovi dnevne mobilnosti. Diplomaska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezija. Ljubljana.
- Konjar, M., Lisec, A., Drobne, S. 2010: Methods for delineation of functional regions using data on commuters. *Geospatial Thinking: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Berlin.

- Lavrič, M. M. 2011: Modeliranje funkcionalnih regij Slovenije po spolu in po letih za obdobje 2000–2009. Diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezija. Ljubljana.
- Masser, I., Brown, P. J. B. 1975: Hierarchical aggregation procedures for interaction data. *Environment and Planning A* 7-5.
- Masser, I., Brown, P. J. B. 1977: Spatial representation and spatial interaction. *Papers of the Regional Science Association* 38-1.
- Masser, I., Scheurwater, J. 1980: Functional regionalisation of spatial interaction data: an evaluation of some suggested strategies. *Environment and Planning A* 12-12.
- Mitchell, W., Bill, A., Watts, M. 2007: Identifying functional regions in Australia using hierarchical aggregation techniques. Working Paper No. 07-06. Newcastle.
- OECD 2002: Redefining territories – The functional regions. Paris.
- Papps, K. L., Newell, J. O. 2002: Identifying functional labour market areas in New Zealand: a reconnaissance study using travel-to-work data. Discussion Paper 443. Bonn.
- Persyn, D., Torfs, W. 2011: Functional Labour Markets in Belgium: Evolution over time and intersectoral comparison. Vives Discussion Paper. Leuven.
- Pogačnik, A., Zavodnik Lamovšek, A., Drobne, S. 2009: A Proposal for Dividing Slovenia into Provinces. *Lex localis* 7-4.
- Smart, M. W. 1974: Labour market areas: uses and definition. *Progress in Planning* 2-4.
- SURS, 2012a: Delovno aktivno prebivalstvo (brez kmetov) po občinah prebivališča in občinah delovnega mesta po spolu, občine, Slovenija, letno. Statistični urad Republike Slovenije. Medmrežje: http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=0723405S&ti=&path=../Database/Dem_soc/07_trg_dela/05_akt_preb_po_regis_virih/10_07234_delovne_migracije/&lang=2 (6. 1. 2012).
- SURS, 2012b: Karte in šifranti osnovnih prostorskih enot. Upravno-teritorialna razdelitev, Statistični urad Republike Slovenije. Medmrežje: http://www.stat.si/tema_splosno_upravno_karte.asp (8. 2. 2012).
- Sykora, L., Muliček O. 2009: The micro-regional nature of functional urban areas (FUAs): lessons from the analysis of the Czech urban and regional system. *Urban Research & Practice*, 2-3.
- Tomaney, J., Ward, N. 2000: England and the »New Regionalism«. *Regional studies* 34-5.
- van der Laan, L., Schalke, R. 2001: Reality versus policy: the delineation and testing of local labour market and spatial policy areas. *European Planning Studies* 9-2.
- Vanhove, N., Klaassen, L. H. 1987: *Regional policy: A European approach*, 2. edition. Avebury, Aldershot.
- Ward, J. H. 1963: Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58-301.
- Zavodnik Lamovšek, A., Pogačnik, A., Drobne, S., Kobal, J., Pichler Milanovič, N., Peterlin, M., Sitar, M., Lavrač, I., Miklavčič, T. 2011: Funkcionalne regije – Izzivi prihodnjega razvoja Slovenije. Ljubljana.

IZDELAVA TRIRAZSEŽNOSTNE TOPOGRAFSKE KARTE HORJULA Z OKOLICO

Jože Bučar, dr. Dušan Petrovič

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
joze.bucar@gmail.com, dusan.petrovic@fgg.uni-lj.si

UDK: 528.93(497.4Horjul)

IZVLEČEK

Izdelava trirazsežnostne topografske karte Horjula z okolico

Opisan je postopek izdelave trirazsežnostne (3D) karte ter animiranega kartografskega prikaza na primeru območja Horjula z okolico, ki ustreza vsebini izreza lista DTK25 POLHOV GRADEC 114. Pri izdelavi smo kot vire uporabili podatke digitalnega modela reliefa (DMR) in podatke o dejanski rabi površja. Predstavljeni so naslednji postopki: obdelava uvoženih podatkov ter njihova organizacija, obdelava in upodobitev v programu Visual Nature Studio (VNS), določitev načina prikaza objektov in pojavov, izdelava 3D kartografskih znakov, kartografska generalizacija ter predstavitev posameznih slik animiranega kartografskega prikaza.

KLJUČNE BESEDE

3D karta, 3D kartografski model, kartografska generalizacija, CAD 3D-modeli

ABSTRACT

Creation of three-dimensional topographic map of Horjul and its surroundings

This chapter presents the creation of a three-dimensional (3D) map and animated cartographic representation of Horjul and surroundings, insert of the sheet of DTK25 POLHOV GRADEC 114. The map was made using digital terrain model and data of actual land use. A special focus is given to following procedures: the presentation of data processing for importation, organization, processing and visualization in Visual Nature Studio (VNS); the determination of displaying objects and phenomena; making of 3D cartographic signs; cartographic generalization, and presentation of scenes of animated cartographic representation.

KEY WORDS

3D map, 3D cartographic model, cartographic generalization, CAD 3D-models

1 Uvod

Karte služijo kot medij za posredovanje prostorskih podatkov. Uporabnikom omogočajo seznanjanje z dejanskim svetom (Petrovič 2007). Stalen tehnološki napredek se odraža tudi na področju kartografije, kot na primer v tehnologiji izdelave kart, uporabe primernejših materialov za upodobitev, načinu prikaza vsebine in podobno. Kljub vsemu razvoju pa je prikaz objektov in pojavov (realnega) trirazsežnega prostora na ravnini (dvorazsežni podlagi) že od nekdaj povzročal kartografom precej nevšečnosti. Za višinsko predstavitev so uporabljali različne metode upodobitve (Petrovič 2002):

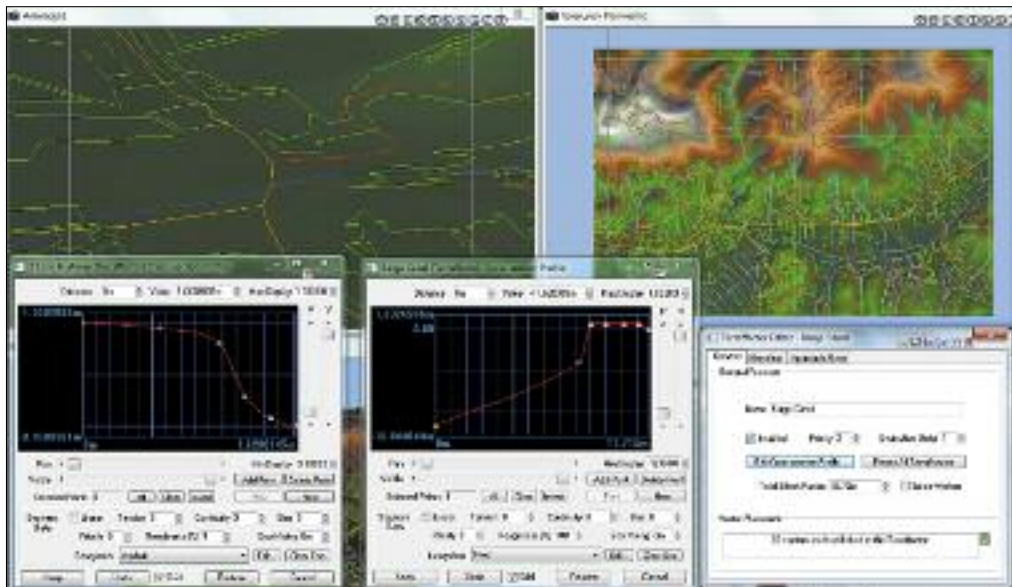
- perspektivne metode (zvrnjeni »hribčki«),
- plastične metode: črtke (šrafe), sence, barvni sloji,
- geometrične metode: kote, plastnice (izohipse) ter
- kombinacijo zgoraj navedenih metod.

Uporabniki so kmalu spoznali številne prednosti trirazsežnostnih upodobitev prostora, sprva v obliki enostavnejših maket, kasneje pa tudi v obliki drugih 3D modelov, reliefnih ter taktilnih kart. Vendar pa je celoten postopek izdelave terjal precej spretnosti, sredstev ter časa. Šele obsežnejša uporaba računalniških tehnologij je prispevala k bolj številčni izdelavi in uporabi 3D prikazov, predvsem zavoljo enostavnejše, hitrejši in bolj ekonomične izdelave.

2 Priprava podatkov za izdelavo 3D karte

Pred začetkom izdelave vsake karte je treba natančno določiti vrsto karte, njeno obliko ter določiti, kateremu namenu bo služila. Na tej podlagi nato določimo matematične elemente karte (kartografsko projekcijo, merilo, orientacijo), opredelimo ustrezno območje, ki ga želimo obravnavati, ter sprejememo odločitve o geografski vsebini in oblikovanju karte.

3D karte lahko danes izdelujemo z različnimi programskimi orodji, eden izmed možnih je tudi program *Visual nature Studio* proizvajalca 3D Nature, LLC (v nadaljevanju VNS). VNS podpira številne



Slika 1: Oblikovanje in upodobitev v VNS-ju (primer ustroja ceste in rečne struge).

formate izmenjevalnih datotek, kot digitalnih modelov reliefa, rastrov, vektorskih slojev, lastno izdelanih 3D objektov itd. Podatke uvažamo s pomočjo čarovnika (*Wizard*), kjer nato izberemo ustrezno datoteko, program pa nas v nadaljnjih korakih postopno sprašuje o naših nadaljnjih korakih. Program je organiziran po zavihkih, ki so locirani in imenovani glede na vsebino (relief, vode, pokritost, kamera, nebo, 3D objekti, osvetlitev). Posameznemu sloju lahko poljubno dodajamo njihove elemente kot podnivoje (medmrežje 1).

Poleg možnosti izdelave dobrih navideznih upodobitev okolja je prednost VNS-ja tudi v tem, da vsebuje orodja za izdelavo ter urejanje topologije zunaj upodobitvenega okolja. To pomeni, da lahko upodobitev vidimo in natančno oblikujemo na nivoju točk, linij in poligonov brez vračanja v GIS okolje. Tematski sloji so lahko izdelani in dostopni prek baze, ki je znotraj upodobitvenega okolja. VNS je prilagojen za upodabljanje fotorealističnih pogledov. Program vsebuje številne oblike ekosistemov, na primer ceste, vode, rastje, neba, naloga uporabnika pa je, da si prilagodi in po možnosti še doda lastne vsebine v taki meri, da ustrezajo njegovemu namenu. Tako lahko poljubno dodajamo elemente znotraj zavihkov ter jim določamo vse ključne parametre. Pri gozdnem ekosistemu, na primer, lahko določimo tipe dreves, vrsto podrasti ter njihovo gostoto. Vodne površine in prometnice upodabljamo kot linijske objekte (reka, potok) ali kot sklenjene poligone (jezera, mlake). Težave neujemanja 3D podanih vektorskih podatkov ali napenjanja vektorskih objektov s podano širino z modelom reliefa domiselno in učinkovito odpravimo s pomočjo uporabe t. i. *terrafactors*, kot je prikazano na sliki 1, skupaj s predstavitevjo celotnega uporabniškega vmesnika programa VNS. Tako za upodobitev pridobimo lično ustvarjene oseke in nasipe na digitalnem modelu reliefa, zato je prikaz linijskih elementov bolj realen.

3 Kartografska generalizacija in priprava načina kartografskega prikaza

Postopke generalizacije uporabljamo tako pri izdelavi kart kot tudi pri modeliranju (Patterson 2005). Še vedno se izvaja predvsem ročno, saj predstavlja zahteven niz postopkov pri izdelavi novih kart, kjer si kartografi prizadevajo izboljšati prikaz in zaznavo prostorskih informacij, njihovo uporabnost ter medsebojna razmerja. Je eden najpomembnejših postopkov izdelave karte, od katerega je v precejšnji meri odvisna kakovost in učinkovitost prikaza. Kartografska generalizacija je odvisna od merila, nameina in načina uporabe karte, kartografskih virov, praga ločljivosti in grafične obremenitve karte.

V proces generalizacije so vključeni naslednji postopki, ki jih je treba zaradi medsebojne odvisnosti izvajati sočasno (Peterca s sodelavci 1974):

- izbira in izpuščanje,
- poenostavljanje,
- združevanje,
- kvalitativna pretvorba in
- premikanje.

Po uspešni vzpostavitvi in generalizaciji kartografskega modela se lotimo še naslednje faze, to je priprave scen za njihovo upodobitev ter izdelavo animiranega kartografskega prikaza – preleta prek območja. To storimo s pomočjo nastavitve kamere v VNS-ju. Ustvarimo novo kamero, ki nam služi za realizacijo preleta. Določimo ključne točke preleta (lokacijo, orientacijo, nagib) in čas poteka preleta med ključnimi točkami. Nato v programu izberemo ustrezno ločljivost posnetka, nastavimo še podatek o številu slik na sekundo ter o glajenju robov. Izbiramo lahko med številnimi izhodnimi formati. Priporočamo samodejni postopek animiranega prikaza po posameznih posnetkih namesto celotnega zapisa v video format, saj lahko pri dolgotrajnem animiranju in shranjevanju celotne animacije pride do težav in se postopek ne izvede v celoti. Posamezni posnetki se shranijo na trdi disk. V programu *Windows Live Movie Maker* lahko nato vse te posnetke naenkrat uvozimo ter sestavimo načrtovan animirani prikaz.

Kartografski (3D) modeli vsebujejo veliko količino podatkov, zato je razumljivo, da obdelava in animiranje scen vzameta veliko časa. Do končnih rezultatov pridemo precej hitreje, če imamo zmogljivo ter sodobno strojno in programsko opremo, saj lahko v nasprotnem primeru pride do nestabilnosti programa.

4 Izdelava trirazsežnostne karte na primeru Horjula z okolico

Predhodno opisan postopek smo uporabili pri izdelavi 3D karte in animiranega kartografskega prikaza območja Horjula z okolico. Kot vir za vzpostavitev modela reliefa v VNS-ju smo uporabili tekstovne xyz datoteke DMV 25, lista VTD2307 in VTD2308 (Geodetska uprava Republike Slovenije). Pri vsebini 3D karte smo izhajali iz lista DTK 25 POLHOV GRADEC 114 012-4-3, v celoti zajetega v vektorski obliki v formatu .ocd programa OCAD (izdelava: Inštitut za geodezijo in fotogrametrijo FGG, Ljubljana, 1997, izdala: Geodetska uprava Republike Slovenije). Območje obravnave je velikosti 4,5 krat 3 km, z oglišči $y_{\text{MIN}} = 446.000$ m, $y_{\text{MAX}} = 450.500$ m, $x_{\text{MIN}} = 97.000$ m, $x_{\text{MAX}} = 100.000$ m, podanimi v koordinatnem sistemu D48. Med samo izdelavo 3D karte smo pridobili še podatke o vegetaciji in rabi površin iz baze Dejanske rabe Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (medmrežje 3).

3D kartografski model smo vzpostavili v programskem okolju VNS. Poleg tega programskega okolja za oblikovanje in izdelavo 3D kartografskih prikazov smo uporabili še programsko opremo za pripravo in obdelavo podatkov, kot so: *OCAD 10.0.1* (OCAD AG), *Google ArcMap 9.3* (ESRI), *Google SketchUp Pro 8* (Google) ter *Windows Live Movie Maker* (Microsoft).

S programom OCAD smo pripravili točkovne, linijske in poligonske vsebine iz datoteke POLHOVGR.OCD (vektoriziran list DTK 25). Vse podatke za vodovje, prometnice, objekte ter napise smo izvozili v program VNS s pomočjo datoteke formata .shp.



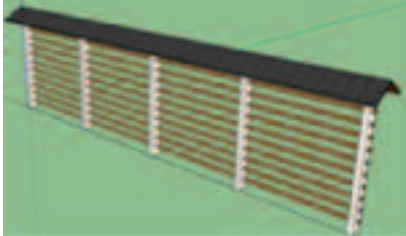



V programu *ESRI ARCGIS (ArcMap 9.3)* je potekalo obrezovanje .shp datotek za naše predhodno definirano območje. Za ta namen smo najprej ustvarili okvir (okvir.dwg) našega območja, nato pa smo z orodjem CLIP v programu odrezali odvečen del za vsako vhodno .shp datoteko (vodovje, prometnice, vegetacija, objekti ter napisi). Kot rezultat smo dobili nove shape datoteke, ki so bile omejene na izbrano območje (vode_nove.shp, ceste_nove.shp, raba_obmocje.shp, objekti_Clip.shp, POLHOVGR_tx_Clip.shp).

Za upodobitev 3D karte in animiranega prikaza smo uporabili tako znake, ki so že bili vgrajeni v programu VNS (medmrežje 2) kot tudi lastno izdelane znake v programu *Google SketchUp Pro 8* (slika 2). Znake smo oblikovali skladno z načeli, opredeljenimi v (Petrovič 2001). Za vode (reke, potoki), ceste (brezprašna cesta, makadamska cesta, kolovoz, slabši kolovoz, ulica), rastje in stanovanjske objekte smo uporabili kar 3D znake (objekte), ki so bili prednaloženi v programu samem.

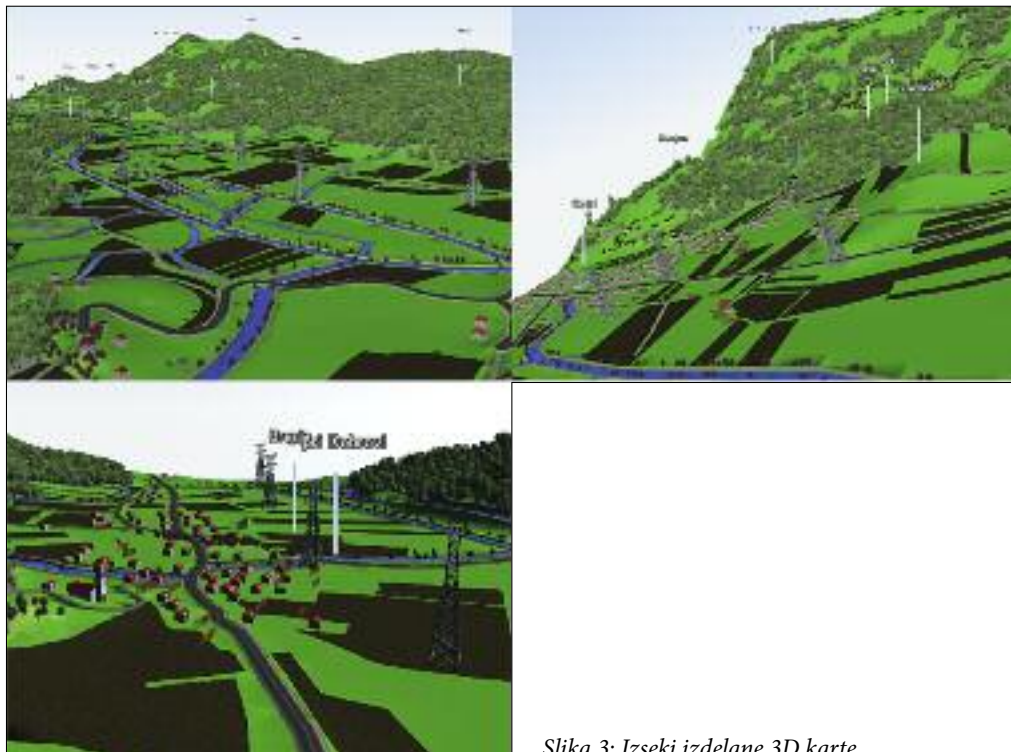
Eden izmed pogostejših problemov, ki se pojavijo pri izdelavi trirazsežnostnih kart, je prekrivanje objektov, kar odpravimo s postopkom kartografske generalizacije, predvsem premikanja. Pri tem je treba ohranjati medsebojne odnose prikazanih objektov skladno s teoretičnimi načeli kartografske generalizacije (Peterca sodelavci 1974), prilagojenimi za 3D predstavitve (Petrovič 2001). V nadaljevanju so navedena vsebinska področja, kjer je bila oziroma na kakšen način je bila uporabljena kartografska generalizacija.

Relief je bil izdelan na podlagi kartografskega vira DMV 25 in ga pri izdelavi 3D karte nismo generalizirali.

Vode so bile prikazane na podlagi lista karte v vektorski obliki DTK 25 POLHOV GRADEC. Glede na to, da je ta karta merila 1 : 25.000, so bili pri njeni izdelavi upoštevani in uporabljeni vsi postopki kartografske generalizacije. Z upoštevanjem postopka izbire smo izpustili smo nekatere manjše in manj pomembne pritoke. Vodno omrežje smo razdelili v dve kategoriji (reke in potoki), ki smo ju prikazali z vgrajenima kartografskima znakoma (namenoma smo spremenili predhodno določeno teksturo vod na svetlo modro barvo, da bi se vode bolj ločile od cest) in upoštevali poenostavljanje linij. Izvire in ponikalnice smo prikazali s poenostavljenima pogojnima kartografskima znakoma, ki smo ju sami izdelali.

IME OBJEKTA	3D ZNAK	VELIKOST [m]
baraka		4 × 2 × 2,8
cerkev		20 × 15 × 15
kozolec		21,25 × 2,5 × 6,1
spomenik		3 × 3 × 4
izvir		2 (polmer)
ponikalnica		2 (polmer)

Slika 2: Primer izdelanih kartografskih znakov.



Slika 3: Izseki izdelane 3D karte.

V enotno kategorijo **pokritosti tal** smo združili travnike, pašnike, ohišnice in vse travnate površin. Prav tako smo se odločili za združevanje hmeljišč in sadovnjakov. Pri njivah in gozdnih površinah smo uporabili izpuščanje. Izognili smo se prikazu majhnih obdelovalnih površin oziroma majhnih otočkov. Vse vsebine so bile prikazane na podlagi vgrajenih prikazov (razen njiv, ki smo jih pridobili na spletni strani <http://www.3dnworld.com/components.php>). Z izbiro ustreznih drevesnih vrst, gostoto, lokacijo in orientacijo smo zgradili prikaz sadovnjakov in gozdov.

Stavbe smo pridobili na osnovi lista karte v vektorski obliki DTK25 POLHOV GRADEC, kjer je določena stopnja generalizacije že upoštevana. Pri vzpostavitvi 3D modela se je v več primerih izkazalo, da je stavba ležala na cesti oziroma vodi, zato smo v nekaterih primerih dodatno premikali objekte. Stavbe in tovarno smo prikazali s kartografskim znakom, ki sta vgrajena v programu VNS. Cerkev, kozolce, barake in spomenike smo prikazali s poenostavljenimi in lastno izdelanimi 3D kartografskimi znaki (slika 2).

Prometnice smo prav tako pridobili na podlagi lista DTK 25 v vektorski obliki. Pri prikazu smo izpustili vse energetske vode (razen daljnovodov). Prav tako smo izpustili gozdne ceste in določene nekategorizirane ceste (neutrjene ceste, pristopi do objektov itd.). Cestno omrežje smo razdelili v tri kategorije (2 lane high way, asphalt path in dirt lane), ki smo jih prikazali z vgrajenimi kartografskimi znaki.

Sloj **zemljepisnih imen** je še zadnji, pridobljen iz lista DTK 25 v vektorski obliki. Uporabili smo imena naselij in objektov (toponime), vodotokov (hidronime) in reliefnih oblik (oronime). Imena vodotokov smo prikazali nad gladino vodotokov, in sicer z modro barvo. Imena naselij, krajev in gričev smo prikazali z belo barvo ter črno obrobo, zaradi boljše preglednosti smo jih dvignili nad teren.

Zadnja faza je obsegala izdelavo animacije, navideznega preleta prek prikazanega območja po vnaprej določeni trajektoriji. Izdelana je bila v programu VNS. Primeri upodobitev vzpostavljenega 3D kartografskega modela, ki so sočasno tudi kadri iz končne izdelane animacije, so prikazani na primerih v sliki 3.

5 Sklep

V prispevku smo opisali in prikazali proces izdelave trirazsežnostne karte ter animiranega kartografskega prikaza. Podrobno je predstavljena obdelava podatkov za uvoz podatkov, postopki, organizacija, obdelava in upodobitev v programu Visual Nature Studio (VNS). Določen je bil načina prikaza objektov in pojavov, predstavljena izdelava 3D kartografskih znakov, opisani uporabljeni postopki kartografske generalizacije ter predstavljena izdelava animiranega kartografskega prikaza.

V uvodu smo omenili, da je razvoj na področju računalništva in tehnologije izrazito pripomogel k bolj številni izdelavi in uporabi 3D prikazov. Slednje je mogoče, ker do kakovostnih 3D kartografskih prikazov pridemo v precej hitrejšem času, enostavneje ter za to dolgoročno porabimo manj sredstev. In prav predstavljeni izdelek potrjuje navedena dejstva, res pa bo treba še nekaj časa, da se tovrstni 3D prikazi uveljavijo med uporabniki, pred tem pa še morda nekoliko grafično izboljšajo s ciljem čim učinkovitejše berljivosti prostorskih podatkov.

6 Viri in literatura

Medmrežje 1: <http://3dnature.com> (11. 2010).

Medmrežje 2: <http://www.3dnworld.com/components.php> (11. 2010).

Medmrežje 3: <http://rkg.gov.si/GERK> (11. 2010). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.

Patterson, T. 2005: DEM Manipulation and 3-D Visualization: Techniques Used by the U. S. National Park Service. *Cartographica* 38, 1–2.

Peterca, M., Radošević, N., Milisavljević, S., Racetin, F. 1974: *Kartografija*. Beograd.

Petrovič, D. 2001: Načela oblikovanja izraznih sredstev v tridimenzionalnih kartografskih prikazih. Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Petrovič, D. 2002: Trirazsežnostne kartografske upodobitve prostorskih podatkov. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001–2002. Ljubljana.

Petrovič, D. 2007: Trirazsežne (tematske) karte v prostorskem načrtovanju. *Geodetski vestnik* 51-2. Ljubljana.

3R GIS OKOLJE ZA NAČRTOVANJE IN PRIKAZ POSEGOV V PROSTOR

Dean Šopič, Črt Rudman, Aljoša Žerjal, Daniel Presl Radi, Jure Grahor

Harpha Sea, d. o. o. Koper

dean.sopic@harphasea.si, chort@harphasea.si, cale@harphasea.si, daniel@harphasea.si, jure@harphasea.si

UDK: 91:659.2:004

711.2

IZVLEČEK

3R GIS okolje za načrtovanje in prikaz posegov v prostor

Prispevek na primeru Mestne občine Koper predstavlja zasnovano, lastnosti in izvedbo 3R GIS okolja za načrtovanje in prikaz posegov v prostor. Primerja dinamično in statično metodo 3R modeliranja urbanih okolij in razpravlja o pomenu njenega dopolnjevanja.

KLJUČNE BESEDE

trirazsežnost, GIS, načrtovanje, prostorska baza podatkov, modeliranje, statični 3R model, dinamični 3R model, stopnje natančnosti prikaza, posegi v prostor

ABSTRACT

3D GIS application for planning and visualisation of spatial development

Article presents the plan, characteristics and implementation of 3D GIS environment for planning and visualisation of spatial development on the example of Municipality of Koper. Dynamic and static modelling methods are compared, and their complementarity is discussed.

KEY WORDS

threedimensional, GIS, planning, geodatabase, modelling, static 3D model, dynamic 3D model, level of detail, spatial development

1 Uvod

Geografski informacijski sistemi so v zadnjih dveh desetletjih postali nepogrešljiv pripomoček vsakogar, ki se ukvarja z načrtovanjem posegov v prostor. Pri tem so dobrodošla pomoč tudi trirazsežnostna (3R) okolja, ki omogočajo prikaz stanja pred in po posegu. Z združitvijo uporabnosti 3R GIS okolja in realistično ponazoritvijo je uporabnikom olajšana izkušnja dojemanja stanja v prostoru in odločanja o bodočih projektih in njihovih različicah.

Za Mestno občino Koper smo razvili lastno 3R GIS okolje za prostorski prikaz raznovrstnih podatkov. Zaradi svoje prilagodljivosti je okolje primerno za zelo raznolike primere uporabe. Omogoča prikaz in analize poljubnih rastrskih ali vektorskih podatkovnih slojev, prav tako pa je mogoče v istem okolju hkrati prikazovati tudi 3R modele ter gibanje in spreminjanje posameznih modelov v prostoru skozi čas.

2 Lastnosti in prednosti 3R GIS okolja

S pomočjo izdelanega okolja lahko načrtovalci in presojevalci posegov v prostor izvajajo ustrezne analize predvidenih posegov in njihovih vplivov na okolico. Zlasti je pomembno, da jim omogoča presojanje v treh razsežnostih in ob prisotnosti vseh potrebnih podatkovnih slojev. Slabost dvorazsežnostnih GIS programov je namreč v pomanjkljivi prostorski predstavi, ki jo nudijo. Programsko okolje omogoča tudi enostavno in vizualno nazorno izvajanje analiz osenčenosti okolice po posegu v prostor, kar je še posebej uporabno po posegih v gosto poseljenem urbanem okolju. Realističen model urbanega okolja omogoča natančno presojo vedut naselja pred in po posegih, modeliranje pogledov iz novograjenega objekta ter fotorealistično ponazoritev načrtovanega objekta. Modeli v bazi podatkov so prek svojih identifikatorjev povezani z ostalimi prostorskimi evidencami. Na ta način lahko uporabnik hkrati dostopa do vseh podatkov, povezanih z modelom, kot so recimo spomeniško varstvo, lastništvo, podatki iz popisa.

3 Osnovni podatkovni sloji za izdelavo 3R urbanega modela

Za realističen prikaz urbanega okolja v treh razsežnostih je nujno predhodno izdelati model stavb, priporočljivo pa tudi modela urbane opreme in vegetacije. Modele stavb smo izdelali na podlagi podatkov detajlnega laserskega snemanja iz zraka. To je delovno zelo intenziven postopek, saj je treba vsaki stavbi iz oblaka točk določiti značilne lastnosti (višino, tloris, lokacijo, obliko in naklon strehe in podobno) in jih vnesti v podatkovno bazo. Vse dostopne fasade stavb starega mestnega jedra Kopra smo nato fotografirali, razpačili in jih, povezane z modelom, shranili v bazo. Rezultat je dinamično ustvarjen sloj modelov stavb s pripadajočimi teksturami in obliko strehe. Natančnost modela je zaradi izvornih podatkov in načina modeliranja precej večja od že uveljavljenega ustvarjanja 3R stavb le iz podatkov katastra stavb.

Podatke o vegetaciji in urbani opremi smo pridobili z izvedbo natančnih popisov, nato pa smo za posamezne tipe rastja (vrsta drevesa, višina) in urbane opreme (vrsta in tip svetilke, klopi, koši za smeti in podobno) izdelali 3R modele in jih povezali z vnosi v bazi podatkov.

Natančen digitalni model reliefa s polmetrsko ločljivostjo smo, tako kot model stavb, izdelali iz oblaka točk laserskega snemanja iz zraka in umerili s pomočjo GNSS meritev kontrolnih točk. Hkrati z laserskim snemanjem je bil izdelan tudi natančen ortofoto posnetek celotnega območja, ki, projiciran na prej omenjeni model reliefa, zagotavlja realističen prikaz stanja v prostoru. Na tri mesece izvajamo tudi lastna aerosnemanja, ki zagotavljajo posodobljenost podatkov.

4 Dodatni podatkovni sloji za načrtovanje in prikaz posegov v prostor

V bazo podatkov lahko dodamo poljubne podatkovne sloje, vendar so za uporabo pri načrtovanju in prikazu posegov v prostor najuporabnejši sloji omejitvev v prostoru ter lastnosti površja.

Omejitve v prostoru

- 2R sloji formalnih omejitev v prostoru, na primer območja Natura 2000, vodovarstvena območja, območja ohranjanja naravne in kulturne dediščine;
- arheološka najdišča – območja arheoloških raziskav s povezavami na poročila o izkopavanjih in varstvenih režimih;
- komunalni vodi – podatke smo prevzeli iz katastrov gospodarske javne infrastrukture. Problem je slabša kvaliteta zajema višine pri nekaterih evidencah GJI;
- geološke vrtnice in profili – okolje omogoča vnos in prikaz geoloških podatkov vrtin ter prikaz interpoliranih podatkov o višini podtalnice, globini posameznih geoloških plasti in ostalih razpoložljivih podatkov.

5 3R modeliranje mest

V osnovi enostavna in trivialna naloga izdelave 3R modela mesta se kar hitro spreobrne v težavno nalogo, ko poskusimo zadovoljiti vse potrebe. Prikazati si želimo velika območja. Želimo si detajlnih struktur, ki bi imele čim bolj realno podobo. Z istim namenom vključujemo tudi rastje ter druge objekte. Vse skupaj zelo hitro preseže meje, ki jih za prikazovanje ponuja strojna oprema. Le premišljene metode in učinkovita organizacija podatkov lahko omogočita tekoče prikazovanje velikih gmot podatkov v realnem času.

Pri 3R modeliranju mest smo naleteli na naslednje težave:

- velika količina objektov,
- realnost podobe,
- možnost prikaza več stopenj kompleksnosti,
- možnost sprotnega ažuriranja podatkov z enostavnimi postopki za uporabnika,
- časovno sledenje spremembam.

Pri prikazu 3R modelov pa so se pojavile naslednje zahteve:

- prikaz na različnih kombinacijah strojne opreme,
- istočasni prikaz velike količine podatkov,
- preklapljanje med istoležnimi modeli (na primer časovno preklapljanje med modeli iz različnih zgodovinskih obdobji oziroma predstavitve različnih projektov, umeščenih v isti prostor).

Pri izdelavi učinkovitega modela, ki bi izpolnjeval našete zahteve, smo združili dve metodi, ki ju opisujemo v nadaljevanju.

Statični 3R model: Model imenujemo statični takrat, ko je njegova struktura izdelana in shranjena v datoteko. Prednost statičnega modela je v tem, da ne potrebuje dostopa do baze podatkov in računalnik razbremeni sprotnega ustvarjanja 3R struktur.

Njegova slabost je, da moramo vsak posamezni model posebej odpreti v prikazovalniku. Če želimo prikazati skupino modelov, moramo najprej naložiti vsakega posebej. Skupek modelov moramo nato shraniti v svojo datoteko, s čimer se količina podatkov zelo hitro večja. Prav tako se tovrstne datoteke nabirajo na različnih lokacijah. Ob nadgradnji modela ponovno nastane nova datoteka. Učinkovito sledenje takšnemu toku podatkov je zelo zahtevno, vračanje na predhodna stanja pa je težavno, včasih nemogoče.

Pri prikazovanju različnih scenarijev imamo težave s preklapljanjem med različnimi modeli, saj imamo več različnih modelov na isti lokaciji. Primer tega je na primer preklap med prikazovanjem stavbe iz 18. stoletja in istoležne stavbe iz današnjega časa.

Dinamični 3R model: Dinamični model je model, ki se ustvarja sproti. V ozadju dinamičnega modela stoji baza podatkov, v kateri so definirani vsi podatki, potrebni za izgradnjo modela, ne pa model sam. Prikazovalnik v trenutku zagona zahteva od baze vse potrebne podatke za izdelavo 3R modela ter na njihovi osnovi ustvari 3R model.

Prednosti takega modela so:

- možnost istočasnega pregledovanja 3R podatkov iz iste baze večih uporabnikov hkrati,
- možnost hkratnega izvajanja sprememb v bazi s strani več uporabnikov,
- sprotno prikazovanje uvedenih sprememb vsem uporabnikom v realnem času,
- za izvedbo sprememb ni potrebno znanje o 3R modeliranju, saj uporabnik spreminja opisne podatke v tabelah, iz katerih se model izdeluje,
- možnost sprotnega preklapljanja med vidnimi elementi v prikazu,
- več stopenj natančnosti modelov, ki se med seboj lahko po potrebi dinamično izmenjujejo.

Slabosti dinamičnega 3R modela so:

- za prikaz je potrebna zmogljivejša strojna oprema, ki v realnem času izgrajuje model,
- za prikaz modela je potreben dostop do baze podatkov,
- sistem je zelo učinkovit za prikaz enostavnih modelov stavb, ni pa učinkovit pri podrobnih modelih, ki jih je težko opisati v okviru standardizirane tabele.

6 Primerjava metod

Če želimo s kvadri ponazoriti razporeditev stavb na večji površini (na primer celotni mestni občini), je zelo učinkovit dinamični model, saj lahko iz katastra stavb v bazo prenesemo podatke (tlorise stavb, nadmorske višine temeljev ter višine stavb od temelja itd.), program pa ob zagonu na podlagi teh podatkov izdela zelo grob 3R model območja. S pomočjo skriptov za avtomatično ažuriranje stanja lahko model enostavno ažuriramo ob vsakem prejemu novega katastra.



Slika 1: Osnovni model stavb – kvadri.

Model lahko s parametričnim opisom streh (vsaka zgradba ima pripadajoče polje, v katerega vpišemo podatke, potrebne za rekonstrukcijo oblike strehe). Ta podatek je sestavljen iz šifranta, ki opisuje obliko strehe in naklona strehe.

Ob spremembi tlorisa ali višine zgradbe se obnovita tudi položaj in oblika strehe in prilagodita novim dimenzijam znotraj okvirov njenega parametričnega opisa. Če želimo mestu dati še bolj realno podobo, lahko ob popisu fotografiramo fasade stavb in v bazo vnesemo imena fotografij, ki predstavljajo posamezne stranice stavbe.

Pri statičnem modelu vsakršna sprememba zahteva ročni poseg v 3R model, za kar je potrebno znanje o 3R modeliranju s strani uporabnika. Ob vsaki spremembi katastra je treba stavbo identificirati znotraj modela, ročno popraviti tako videz zgradbe, kakor tudi njene strehe, ter po potrebi spremeniti navedbo o teksturi fasade. Tako delo je zelo zamudno.



Slika 2: Kvadri z dodano streho in fotografijami fasad.



Slika 3: Primer podrobnejših modelov.

Na drugi strani pa se dinamični model izkaže kot neučinkovit pri podrobnejših modelih zgradb. Ko želimo modelirati na primer objekt zgodovinskega pomena in bi želeli v model zajeti vse njegove arhitekturne podrobnosti, tega ne moremo opisati v tabeli podatkov – vsaj ne v taki, ki bi bila standardizirana za vse stavbe in obenem ne preveč kompleksna. V takšnih primerih so ustrežnejši statični modeli, saj lahko kompleksno strukturo modeliramo in zapečatimo v samostojno datoteko.

7 Integracija sistemov

Na podlagi primerjave smo ugotovili, da se pri izdelavi učinkovitega 3R modela mesta nikakor ne moremo uporabljati ene same metode, tako zaradi vizualne podobe kot tudi zaradi strojnih zmogljivosti razpoložljive opreme. Odločili smo se torej za integracijo obeh sistemov, kjer osnovne stavbe, ki jih lahko prikažemo s kvadri, dinamično ustvarjamo iz baze, hkrati pa nam baza dostavi podatek o lokaciji kompleksnejšega statičnega 3R modela ter nam poda njegov položaj in orientacijo v modelu.

LOD (level of detail) sistem za pospešitev prikazovanja: Čeprav smo v opisu statični model predstavili kot manj obremenjujočega za strojno opremo, se v praksi tudi s tega stališča izkaže kot slabši, saj moramo že ob zagonu naložiti vse, kar želimo videti. Če želimo na primer potovati po modelu celotne mestne občine, moramo pri statičnem modelu naložiti vse kvadre, vse podrobnosti stavbe (okna, balkoni, ograje, žlebovi, kljuke itd.), rastje, svetila itd. Obenem moramo biti pozorni, da se na lokaciji podrobnih modelov ne nahajajo kvadri, ki ponazarjajo isto stavbo iz katastrskih podatkov. Statični model ima tako naložene vse elemente, tako tiste, ki so zunaj vidnega polja, kot tudi podrobnosti, ki na trenutni razdalji niso razločne.

Pri dinamičnem modelu se pa v trenutnem pogledu omejimo samo na predmete, ki so v vidnem polju in so na dani razdalji razločni. Ob zagonu lahko tako naložimo samo kvadre stavb, saj gledamo območje z večje razdalje in se podrobnosti na stavbah ne vidijo. Ko se naselju približujemo, se zmanjša



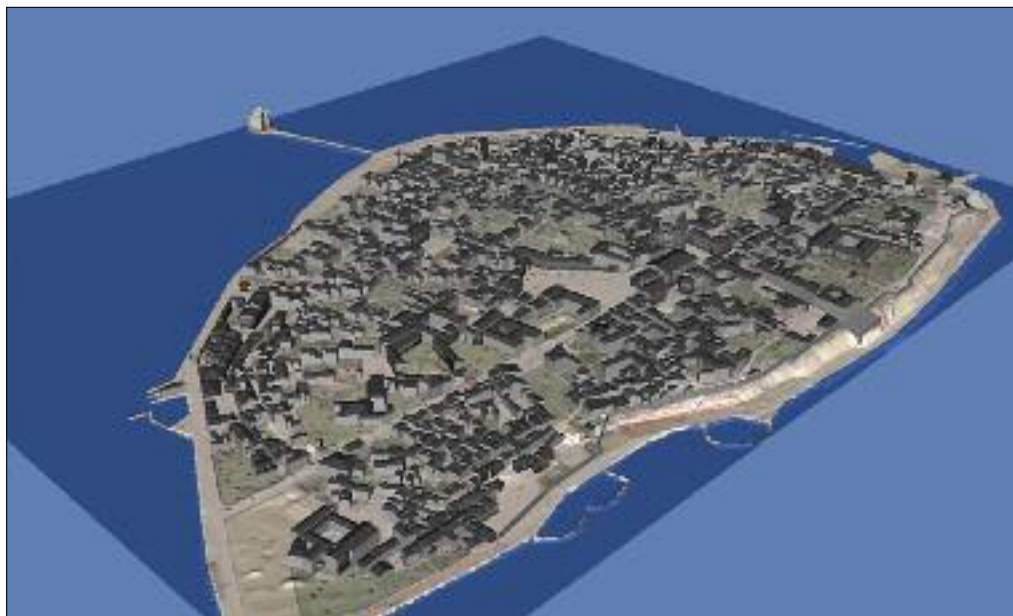
Slika 4: Integracija kvadrov s prilepljenimi fasadami in podrobnih modelov.

število objektov v vidnem polju, zato lahko v tem koraku dodamo tudi na primer strehe. Ko se posameznemu objektu dovolj približamo, lahko naložimo še fotografijo fasade. Kasneje lahko naložimo še drevesa, svetila in podrobne modele zgradb, ki vsebujejo oka, balkone, ograje itd. S približevanjem se neprestano zmanjšuje število objektov v bližnjem vidnem polju, te pa lahko nadomestimo s predmeti, ki predstavljajo detajle na stavbi. Ob vstopu v stavbo se naloži samo model notranjosti z vsemi podrobnostmi.

Prikaz rastja, svetil in ostalih objektov lahko omogočimo ali pa tudi ne, odvisno od zmogljivosti strojne opreme, na kateri trenutno prikazujemo. Ravno tako lahko v primeru manj zmogljivih sistemov aplikaciji omejimo stopnjo prikaza podrobnosti. Na ta način metoda, ki je na osnovnem primeru izkazala za počasnejšo, postane ključnega pomena za sprotno pregledovanje.

»... Glede na predstavitev 3D-modelov objektov se takšni prikazi po kakovosti oziroma vključevanju podrobnosti delijo glede na stopnjo posploševanja detajlov oziroma glede na ločljivost objektov (LOD – level of detail). Za upodobitev stavb na splošno razlikujemo pet stopenj razpoznavnosti (kakovosti upodobitve) objektov, ki se označujejo kot LOD 0, LOD 1, LOD 2, LOD 3 in LOD 4 (Kolbe, 2008). Zvezno ali večstopenjsko prikazovanje ločljivosti podrobnosti (LOD) je splošno poznana tehnika v računalniški grafiki, ki se uporablja za podajanje od pogleda odvisne redukcije podrobnosti pri prikazovanju rojev točk, pravokotnih in trikotniških mrež, 3D-objektov, tekstur itd. Pristop zagotavlja sprotno izboljšanje razmerja med ločljivostjo, kakovostjo in hitrostjo prikaza zahtevne dinamične računalniške grafike. Ločljivost detajla se izračunava sproti oziroma v realnem času ali skladno s prednastavitvami, kar je odvisno od zapletenosti površin, oddaljenosti opazovalca, kota opazovanja in/ali hitrosti premikanja objekta ali opazovalca (en.wikipedia.org/wiki/Level_of_detail). Največja mogoča izguba natančnosti se lahko določi z ustrezno nastavitvijo vnaprej podanih mejnih vrednosti različnih stopenj natančnosti ...« (Šumrada 2009, 698).

Sledenje časovnemu razvoju mesta preko 3R modela: Dinamična metoda je nepogrešljiva tudi pri prikazovanju sprememb podobe mesta skozi čas, saj prikazovalnik v realnem času pridobiva tako dinamične kot tudi statične modele iz baze in jih dodaja ali izklaplja iz prikaza. Glavna težava pri tem



Slika 5: Prikaz modela »3R model starega mestnega jedra Kopra okoli leta 1800«, izdelanega na podlagi podatkov iz franciscejskega katastra.

se skriva v razparceliranju/združevanju stavb skozi čas. Stavba iz preteklosti se je namreč z leti katastrsko lahko delila ali združevala, čeprav je njena zunanja podoba ostala enaka. Rešitev je v pozorno izdelani drevesni povezavi znotraj baze, ki beleži vse časovne delitve/združevanja stavbe in tako zaza, kdaj zamenjati prikaz ene stavbe z večimi ali obratno.

8 Sklep

Na podlagi zgoraj navedenega smo kot osnovo izbrali dinamični model in mu vgradili posamične statične modele različnih stavb v različnih obdobjih. Temeljna osnova celotne strukture je dobro organiziran GIS sistem, ki mora predvideti vse potrebne podatke za izpeljavo naše naloge ter dopustiti možnost nadaljnega razvoja v primeru novih potreb.

9 Viri in literatura

Šumrada, R. 2009: Trirazsežni pristopi za modeliranje stavb mest in pokrajin. Geodetski vestnik 53-4. Ljubljana.

PRVO VSEDRŽAVNO LASERSKO SKENIRANJE SLOVENIJE

dr. Mihaela Triglav Čekada, mag. Vasja Bric, mag. Katja Oven

Geodetski inštitut Slovenije

mihaela.triglav@gis.si, vasja.bric@gis.si, katja.oven@gis.si

UDK: 528.8(497.4)

IZVLEČEK

Prvo vsedržavno lasersko skeniranje Slovenije

Leta 2011 smo v Sloveniji začeli izvajati vsedržavno lasersko skeniranje (lidar). Podan je pregled dosedanje uporabe podatkov laserskega skeniranja v Sloveniji in opis osnovnih parametrov laserskega skeniranja, ki jih je treba poznati pred izvedbo skeniranja. Sledi pregled vsedržavnih laserskih skeniranj v nekaterih bogatejših zahodnih državah. V nadaljevanju je opisan projekt izvajanja vsedržavnega laserskega skeniranja Slovenije glede na izbrana območja različnih gostot laserskih točk in pričakovani končni izdelki. Narejena je tudi primerjava med tujimi vsedržavnimi laserskimi skeniranj in slovenskim projektom.

KLJUČNE BESEDE

lasersko skeniranje Slovenije, LiDAR, Slovenija, Nizozemska, Nemčija, Švica, Finska, Italija

ABSTRACT

First nationwide laser scanning of Slovenia

Nationwide aerial laser scanning (lidar) of Slovenia has started in 2011. The overview of current possibilities of lasers scanning usage in Slovenia is given. Additionally, different characteristics of laser scanning which should be known prior to the laser scanning ordering are described. It is followed by an overview of nationwide laser scanning project in different European states. In detail the project of the Slovenian nationwide aerial laser scanning is presented: areas with three different point numbers (2, 5 and 10 points/m²), end-products and the quality controls of the project. The Slovenian data are compared with other nationwide laser scanning data acquisitions.

KEY WORDS

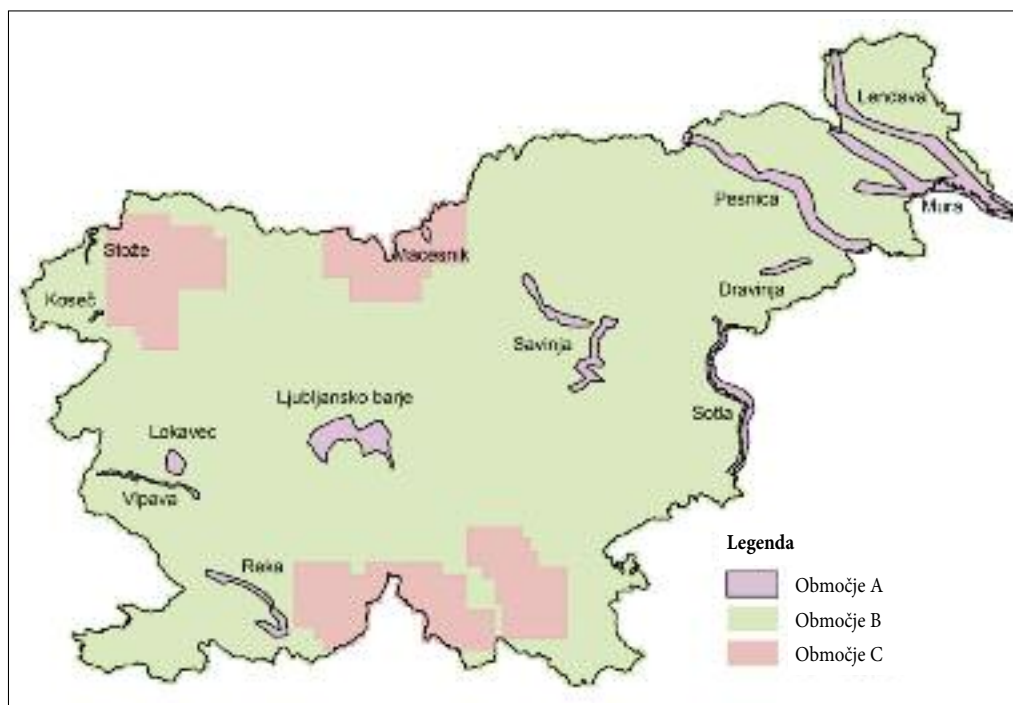
aerial laser scanning of Slovenia, LiDAR, Slovenia, the Netherlands, Germany, Switzerland, Finland, Italy

1 Uvod – zračno lasersko skeniranje

Zračno lasersko skeniranje je metoda daljinskega zaznavanja, ki omogoča podrobno izmero reliefa tudi pod rastjem. Za lasersko skeniranje se uporablja tudi sinonim lidarsko snemanje ali kratko lidar, ki izhaja iz angleškega opisa tehnologije (*light detection and ranging*, okrajšava LiDAR). Glavni rezultat laserskih meritev so georeferencirane koordinate laserskih točk, ki vsebujejo še red odboja in intenziteto odbitega valovanja. Lasersko skeniranje se lahko uporablja kot samostojna tehnika zajema ali v kombinaciji z drugimi metodami daljinskega zaznavanja, običajno aerofotografiranjem.

Lasersko skeniranje se uporablja za izmero tras elektrovodov, izdelavo podrobnih 3D-modelov mest, gozdarske, hidrološke in ostale topografske analize (Shan in Toth 2009; Ahokas in sodelavci 2005). V Sloveniji lasersko skeniranje uporabljamo pri vzdrževanju daljnovodov (medmrežje 4), oceni tveganja pred naravnimi nesrečami ter identifikacijo geomorfoloških značilnosti (Podobnikar s sodelavci 2008; Triglav Čekada 2011), pri izboljšavi topografskih kart (Petrovič s sodelavci 2011) in modeliranju mest (Zalokar 2010). Že nekaj časa ga uporabljamo tudi za prostorsko načrtovanje, preučevanje spreminjanja reliefa, za izdelavo podrobnih hidroloških študij, za gozdarstvo in arheološke študije (Gosar s sodelavci 2007; Kobler in Zafran 2006; Janža s sodelavci 2009; Kolega s sodelavci 2008; Barborič s sodelavci 2008; Kokalj, Oštir in Zakšek 2008; Mlekuž 2010). Laserske podatke pa bi lahko v prihodnosti uporabili še za ažuriranje različnih nepremičninskih evidenc ter drugo (Triglav Čekada 2010).

Natančnost položaja laserskih točk je odvisna od natančnosti neposrednega georeferenciranja, s katerim določimo lego laserskih točk v prostoru. Natančnost neposrednega georeferenciranja je odvisna od natančnosti laserskega skenerja, natančnosti inercialnega navigacijskega sistema (INS) in natančnosti globalnega navigacijskega satelitskega sistema (GNSS) na krogu nosilca snemanja. Več o tem, kako lahko natančnost laserskih točk opredelimo še pred samim laserskim skeniranjem, najdemo v (Triglav-Če-



Slika 1: Območja različnih gostot laserskega skeniranja (medmrežje 1).

kada 2010). Že obstoječi laserski podatki pa ponavadi že v sami tehnični dokumentaciji projekta vsebujejo tudi splošno oceno položajne natančnosti laserskega skeniranja.

Gostota laserskih točk na enoto površine je podana s številom točk na m^2 . Zaradi različnega števila odbojev enega laserskega žarka (na stavbi dobimo samo en laserski odboj, na rastju več, na vodi nobenega) ter različnih prekrivanj snemalnih pasov, gostota laserskih točk ni enotna za celotno delovišče. Pri gostoti moramo opredeliti, ali je določena za vse registrirane odboje laserskega žarka, ali le za tiste, ki se odbijejo od tal oziroma terena. V tem prispevku je gostota uporabljena kot registracija vseh odbojev. Glede na gostoto lahko lasersko skeniranje delimo na:

- do 5 točk/ m^2 – majhna gostota laserskih točk: omogoča izdelavo splošnih digitalnih modelov reliefa (DMR) za celotno državo in je primerljiva z DMR-ji, ki jih pridobimo na osnovi stereorestitucije letalskih posnetkov cikličnega aerosnemanja Slovenije,
- 5–10 točk/ m^2 – srednja gostota laserskih točk: omogoča izdelavo bolj podrobnih DMR-jev, denimo za generalne študije poplavnih območij,
- 10 ali več točk/ m^2 – visoka gostota laserskih točk: omogoča izdelavo najbolj podrobnih DMR-jev, podrobnih 3D-modelov mest, prikaz podatkov za topografske karte merila 1 : 10.000 ali 1 : 5000 ter podrobne hidrološke študije poplavnosti.

Leta 2011 sta Ministrstvo za okolje in prostor (MOP) ter Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS) začela izvajati lasersko skeniranje celotnega ozemlja Slovenije, predvem za izdelavo kart poplavnosti in za druge namene (medmrežje 3). Geodetski inštitut Slovenije (GI) izvaja kontrolo kakovosti rezultatov projekta. V sestavku bomo primerjali vsedržavne slovenske laserske podatke s primerljivimi tujimi vsedržavnimi laserskimi skeniranjmi.

2 Državna laserska skeniranja v tujini

Nizozemska je prva država, ki je začela z vsedržavnim laserskim skeniranjem že leta 1996. Celo državo so pokrili med leti 1996 in 2003. Lasersko skeniranje je bilo osnova za izdelavo DMR-ja z 0,062 točke/ m^2 (1 točka na 16 m^2) na odprtih območjih ali 0,028 točke/ m^2 na območjih pokritih z gozdovi ali vodami. Standardni odklon višinske napake je bil 15 cm (de Boar s sodelavci 2008). Snemanja so izvajali pozimi. Drugo lasersko skeniranje s srednjo gostoto 6–10 točk/ m^2 so začeli izvajati leta 2007, do leta 2012 pa bo predvidoma dokončano. Višinska napaka teh laserskih podatkov naj ne bi presegala 5 cm. Na razpolago bodo: oblak točk površja, klasificiran oblak ostalih točk in dva DMR-ja – en z velikostjo celice 0,5 krat 0,5 m in drugi s celicami 5 krat 5 m (de Jong 2011).

Naslednji so se vsedržavnega snemanja lotili v Švici, kjer so lasersko skeniranje kombinirali s klasičnim aerofotografiranjem. Snemanja so začeli izvajati leta 1999. Državo so razdelili na 5 blokov (lotov), ki so jih posneli v petih letih. Posneli niso le območij nad gozdno mejo, torej nad 2000 m višine, saj je bil eden od namenov snemanja tudi ažuriranje podatkov za preverjanje kmetijskih subvencij, nad gozdno mejo pa pomembnejših kmetijskih površin ne najdemo. Snemanje je bilo izvedeno v nezalistanem delu leta, z najvišjo dovoljeno debelino snežne odeje 10 cm, predpisano je bilo, da se snemanje izvaja med decembrom in junijem. Glavni izdelek laserskega skeniranja je bil DMR, ki prikazuje samo relief brez vegetacije. DMR mora imeti 0,44 točke/ m^2 na odprtih območjih ali 0,14 točke/ m^2 v gozdovih. Izdelki, poleg DMR-ja, vključujejo še klasificiran oblak točk in digitalni model površja (DMP), ki vsebujeta vse vidne strukture, od vegetacije do grajenih objektov. Višinska in ravninska točnost vseh izdelkov mora biti boljša od 50 cm (1 sigma) (Luethy in Stengele 2005).

V Nemčiji, kjer površina povprečne dežela kar nekajkrat presega površino Slovenije, so se laserskega skeniranja lotili po deželah. Bavarska, katere površina je skoraj 3,5 Slovenije, je začela z državnim laserskim skeniranjem leta 1996 in ga sklenila leta 2011. Za bavorske Alpe so predpisali 1 točko/ m^2 in višinsko točnost 8 cm (Dorsch s sodelavci 2010). Dežela Baden-Württemberg je začela z laserskim skeniranjem leta 2000 in ga sklenila leta 2004. Namen skeniranja je bil predvsem za preprečevanja poplav.

Posneli so ga z ločljivostjo 0,44 točke/m², predpisana višinska točnost je boljša kot 50 cm. Eden izmed rezultatov je bil tudi DMR z velikostjo celice 1 krat 1 m (Sittler 2004). V celoti je z laserskim skeniranjem pokrita še dežela Schleswig-Holstein (medmrežje 3).

Danska je leta 2007 naročila vsedrjavno lasersko snemanje z višinsko točnostjo 10–15 cm in gostoto 0,62 točke/m² (medmrežje 2).

Finska je začela s postopno izdelavo vsedravnega laserskega skeniranja leta 2008. Najprej so se v letih 2008 in 2009 lotili snemanja obmorskih in območij večjih rek v skupni velikosti za dobri dve Sloveniji. Predpisana gostota laserskih točk je 0,5 točke/m² na terenu, kar zneso 1 točko na 1,4 m razdalje. Točnost na odprtem terenu mora dosežati po višini 15 cm in ravninsko 60 cm. Laserski podatki so samodejno klasificirani in eden od izdelkov je tudi DMR z velikostjo celice 2 krat 2 m (Ahokas s sodelavci 2008; Laaksonen 2009).

Provincia Bolzano, velika za slabo polovico Slovenije, je bila posneta leta 2003. Snemali so s tremi različnimi gostotami: območja, kjer imajo karte meril 1 : 5000 z gostoto 4 točke na 2,5 krat 2,5 m, območja, kjer ni teh kart pod nadmorsko višino 2000 m z 8 točk na 5 krat 5 m in ostala območja na višjih nadmorskih višinah z gostoto 0,12 točke/m². Glavni izdelek laserskega skeniranja je bil DMR s prej navedeno velikostjo celice (Wack in Stelzl 2005).

3 Lasersko skeniranje Slovenije

Projekt laserskega skeniranja Slovenije se je začel leta 2011. Spomladil leta 2012 je bil projekt začasno prekinjen in se bo verjetno nadaljeval jeseni leta 2012. Do aprila 2012 je bilo izdelano, kontrolirano in predano pet blokov iz območja A (slika 1): Dravinja, Ljubljansko barje, Vipava in Savinja (oba dela) ter trije bloki iz območja B.

V projektu Lasersko skeniranje Slovenije bo pokrita celotna površina Slovenije vključno z 250 m širokim čezmejnim pasom. Glede na namen je Slovenija razdeljena na območja A, B in C z različnimi gostotami laserskih točk:

- območja A – 10 točk/m²: štirje zemeljski plazovi in devet poplavno najbolj ogroženih območij,
- območja B – 5 točk/m²: večji del države,
- območja C – 2 točki/m²: visokogorje in območja velikih gozdov.

Za območja A je bila izbrana visoka gostota (vsi registrirani odboji) laserskih točk, ki omogoča podrobne prostorske analize. Za območja B je izbrana srednja gostota laserskih točk, le-ta še vedno omogoča izdelavo kakovostnih hidroloških-hidrotehničnih analiz (medmrežje 1).

Območje države je razdeljeno na manjše (13 območij A) ali večje bloke (29 območij B in 4 območja C), ki se delno prekrivajo in predajajo ter kontrolirajo kot posamezne enote. Na sliki 1 je mogoče prepoznati 13 območij A in 4 območja C, območje B (na sliki ni delitve) pa je razdeljeno na bloke velikosti do 1000 km², katerih velikosti in meje so prilagojene geografskim značilnostim.

Lasersko skeniranje mora biti izvedeno v nezalistanem delu leta, zato je predvideno, da bo večina Slovenije posneta spomladi. Po obdelavi podatkov in zunanji kontroli naj bi bila večina podatkov na razpolago zainteresirani strokovni javnosti.

Rezultati projekta so naslednji:

- **Georeferenciran oblak točk (GOT)**, kjer so točke zapisane v koordinatnem sistemu D96T/TM z elipsoidno višino. Podatki so shranjeni v datotekah, ki predstavljajo snemalne pasove, v formatu LAS z omejitvijo velikosti posamezne datoteke na 2 GB.
- **Georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT)**, kjer so točke zapisane v koordinatnem sistemu D96/TM z nadmorsko višino, v formatu LAS in razrezom na liste v velikosti 1 km² za območja B in C ter na ¼ km² za območja A. Ime datoteke setavljajo tri (1 km – za območja B in C) oziroma štiri številke (500 m za območja A) koordinate E (vzhodno) in N (severno), ki določajo lokacijo levega spodnjega vogala 1 km² ali ¼ km². Primer: datoteka TM_5005_1320.las predstavlja blok velikosti ¼ km², katerega levi spodnji vogal leži na kordinati X 500.500 m in Y 132.000 m.

- **Oblak točk reliefa (OTR)**, kjer so shranjen točke, ki so bile klasificirane v GOT-u kot točke na terenu.
- **Digitalni model reliefa (DMR)** z velikostjo celice 1 krat 1 m, ki je izdelan z interpolacijo točk OTR-ja, ter srednjo višinsko točnostjo 15 cm in srednjo ravninsko točnostjo 30 cm.
- **Podoba analitičnega senčenja (PAS)**, ki je zapisan z velikostjo celice 0,5 krat 0,5 m. PAS datoteke obsegajo območja velikosti 5 krat 5 km.
- **Aerofotografije in ortofoti** samo za območja A.

Kontrolo kakovosti v zaporednih korakih in za vsak blok posebej izvajata Geodetska uprava Republike Slovenije in Geodetski inštitut Slovenije. Kontrola kakovosti obsega:

- pregled popolnosti pokritja z rezultati projekta,
- pravilnost zapisa rezultatov na elektronski medij,
- berljivost in pravilnost uporabljenih formatov,
- popolnost in ustreznost poročil,
- preverbo izvedbe notranje kontrole izvajalca,
- ustreznost gostote in njene porazdelitve glede na zahteve iz razpisne dokumentacije,
- pregled pravilnosti kasifikacije oblaka točk,
- pravilnost preračuna elipsoidnih višin v nadmorske,
- kontrolo ravninske in višinske točnost OTR-ja in DMR-ja 1,
- pravilnost transformacije iz D96/TM v D48/GK,
- pravilnost izdelave PAS-a,
- kakovost aerofotografij in ortofotov.

4 Sklep

V Sloveniji bomo z vsedrjavnim laserskim skeniranjem dobili nov zelo natančen podatkovni sloj topografije. Izbrane gostote laserskih podatkov so višje kot gostote drugih vsedrjavnih laserskih skeniranj držav s primerljivo razgibanostjo topografskih elementov (gore, hribovje). Gostote območij A in B so enake kot gostota novega snemanja Nizozemske. Tudi množica izdelkov našega vsedrjavnega laserskega skeniranja je zelo bogata, od osnovnih neklasificiranih podatkov do rastrskega DMR-ja, zato menimo, da bodo podatki uporabni za najširši krog zainteresirane slovenske strokovne javnosti. Lasersko skeniranje celotne Slovenije bo spodbudilo uporabo laserskih podatkov za različne namene.

5 Viri in literatura

- Ahokas, E., Kaartinen, H., Hyypää J. 2008: On the quality checking of the airborne laser scanning-based nation wide elevation model in Finland. ISPRS congres 2008. Beijing.
- Ahokas, E., Yu, X., Oksanen, J., Hyypää, J., Kaartinen, H., Hyypää, H. 2005: Optimization of the scanning angle for contrywide laser scanning, ISPRS WG III/3, V/3 Workshop »Laser scanning 2005«. Enschede.
- Barborič, B., Triglav Čekada, M., Berk, S., Kosmatin Fras, M. 2008: Metodologija za izboljšavo in harmonizacijo geodetskih podlag za potrebe čezmejnega prostorskega načrtovanja. GIS v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- de Jong, S. 2011: Opportunities for LIDAR to characterize forest stand characteristics and biomass. Magisterska naloga. Wageningen.
- Dorsch, J., Kistler, E., Attwenger, M. 2010: Laser scanning project provides foundation for predicting natural hazards in the Alps. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 161-2. Stuttgart.
- Gosar, L., Rak, G., Steinman, F., Banovec, P. 2007: Z LIDAR tehnologijo zajeta topografija v hidravličnih analizah vodotokov. Gradbeniški vestnik 56. Ljubljana.

- Janža, M., Komac, M., Kobler, A., Stojanova, D., Oštir, K., Marsetič, A., Džeroski, S., Gosar, A. 2009: Metodologija ocene višine in gostote vegetacijskega pokrova z daljinsko zaznanimi podatki in možnosti njene uporabe v geologiji. *Geološki zbornik* 20. Ljubljana.
- Kobler, A., Zafran, J. 2006: Podatki letalskega lidarskega snemanja in njihova uporaba pri gospodarjenju z gozdom. *Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Studia forestalia Slovenica* 127. Ljubljana.
- Kokalj, Ž., Oštir, K., Zakšek, K. 2008: Uporaba laserskega skeniranja za opazovanje preteklih pokrajin – primer okolice Kobarida. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Kolega, N., Žerjal, A., Krapež, B., Slavec, P. 2008: Uporaba lidarskih podatkov za občinsko prostorsko načrtovanje in upravljanje. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008*. Ljubljana.
- Laaksonen, H. 2009: New Finnish nationwide elevation model incorporating laser scanning. *National Report – Finland, Eighteenth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific*. Bangkok.
- Luethy, J., Stengele, R. 2005: 3D mapping of Switzerland – challenges and experiences. *ISPRS WG III/3, V/3 Workshop »Laser scanning 2005«*. Enschede.
- Medmrežje 1: http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/novice/Teksti_novic/LIDAR_opis.pdf (20. 2. 2012).
- Medmrežje 2: The Danish government buys a nationwide hight model. <http://scankort.10.testsider.dk/index.php/news.54/page.158/News.html#54> (20. 2. 2012).
- Medmrežje 3: <http://www.terramaging.de/en/products-a-services/nationwide-elevation-models> (20. 2. 2012).
- Medmrežje 4: <http://www.flycom.si> (23. 4. 2012).
- Mlekuž, D. 2010: Lidar in geoarheologija aluvialnih pokrajin. *GIS v Sloveniji 2009–2010*. Ljubljana.
- Petrovič, D., Podobnikar, T., Grigillo, D., Kozmus Trajkovski, K., Vrečko, A., Urbančič, T., Kosmatin Fras, M., 2011: Kaj pa topografija? Stanje in kakovost topografskih podatkov v Sloveniji. *Geodetski vestnik* 55-2. Ljubljana.
- Podobnikar, T., Székely, B., Hollaus, M., Roncat, A., Doringner, P., Briese, C., Melzer, T., Höfle, B., Pfeifer, N., Aubrecht, C., Steinnocher, K., Weichselbaum, J. 2008: Ocena tveganja pred naravnimi nesrečami z uporabo podatkov zračnega laserskega skeniranja – primer za območje Alp. *Naravne nesreče v Sloveniji: 1. trienalni znanstveni posvet: zbornik povzetkov*. Ljubljana.
- Sittler, B. 2004: Revealing historical landscapes by using airborne laser scanning – a 3-D model of ridge and furrow in forests near Rastatt (Germany). *ISPRS XXXVI-8/W2, Workshop »Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment«*. Freiburg.
- Triglav Čekada, M. 2010: Zračno lasersko skeniranje in nepremičninske evidence. *Geodetski vestnik* 54-2. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M. 2011: Možnosti uporabe zračnega laserskega skeniranja (LIDAR) za geomorfološke študije. *Geografski vestnik* 83-2. Ljubljana.
- Wack, R., Stelzl, H. 2005: Laser DTM generation for South-Tyrol and 3D-visualisation, *ISPRS WG III/3, V/3 Workshop »Laser scanning 2005«*. Enschede.
- Zalokar, M. 2010: Trirazsežno modeliranje zgradb iz lidarskih podatkov na primeru mesta Domžale. *Diplomska naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezije*. Ljubljana.

KREPITEV IN RAZVOJ DEJAVNOSTI OPAZOVANJA ZEMLJE V SLOVENIJI

dr. Mojca Kosmatin Fras, Matevž Domajnko, dr. Anka Lisec

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

mojca.kosmatin-fras@fgg.uni-lj.si, matevz.domajnko@fgg.uni-lj.si, anka.lisec@fgg.uni-lj.si

UDK: 528:659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Krepitev in razvoj dejavnosti opazovanja Zemlje v Sloveniji

V preteklem desetletju se je okrepilo zavedanje o strateški vlogi prostorske podatkovne infrastrukture in sistemov za opazovanje Zemlje. Država in slovenski partnerji sodelujejo v različnih mednarodnih pobudah in projektih, ki so namenjeni tehnološkemu in splošnemu razvoju na teh področjih. Pri raziskavi, ki je bila izvedena med slovenskimi organizacijami v okviru projektov OBSERVE in BalkanGEONet, se je izpostavil problem šibke koordinacije med ponudniki podatkov, neuskkljenih oblik zapisov in slabe kakovosti podatkov. Kljub različnim dejavnostim je v Sloveniji opazno pomanjkanje usklajenega delovanja na področju ponudbe in uporabe podatkov, za kar bi bila nujna koordinacija na nacionalni ravni, kjer bi morale vladne institucije prevzeti vodilno vlogo z medsektorskim sodelovanjem.

KLJUČNE BESEDE

prostorski podatki, prostorska podatkovna infrastruktura, opazovanje okolja, OBSERVE, Slovenija

ABSTRACT

Strengthening and development of Earth observation activities in Slovenia

In the last decade, a large awareness has been developed with respect to the strategic role of spatial data infrastructure (SDI) and Earth observation systems in Slovenia. The country and Slovenian partners participate in several international initiatives and projects dedicated to technological and general development in these fields. A survey among the national stakeholders performed as part of the OBSERVE and BalkanGEONet projects showed the problem of poor coordination of data providers, incompatible data formats and the lack of data quality. In spite of a variety of activities there is a lack of coordination in data provision and sharing, for which coordination at the national level is needed, where governmental bodies have to play a leading role through inter-sectorial cooperation.

KEY WORDS

spatial data, spatial data infrastructure, environmental observation, OBSERVE, Slovenia

1 Uvod

Prostorski podatki so v obliki različnih zemljevidov tradicionalno predstavljali nepogrešljivo osnovo naprednim državam pri njihovem vodenju in upravljanju. Z razvojem sodobnih tehnologij zajema prostorskih podatkov, informacijske tehnologije (IT), vključno s tehnologijo geografskih informacijskih sistemov (GIS), se je začelo v preteklih desetletjih množično zajemati prostorske podatke, tako v javnem kot v zasebnem sektorju, ki so postali pomembna pomoč pri preučevanju prostorskih in okoljskih pojavov.

Worall (1991, po Malszczewsky 1999) je v začetku devetdesetih let preteklega stoletja ocenil, da je prek 80 % odločitev posredno ali neposredno povezanih z lokacijo, z geografskim položajem, in izpostavil pomen prostorskih podatkov za človeško družbo ter splošen razvoj. Termin geoinformacijska ali prostorska podatkovna infrastruktura, ki se nanaša na povezane nacionalne prostorske podatkovne baze, se je v osemdesetih letih preteklega stoletja pojavil v Kanadi, ko so država in pokrajinske geodetske uprave poskušale izboljšati njihovo učinkovitost in zmogljivost s prenosom podatkov v digitalnem okolju (Groot 1997). V večini držav Evrope in tudi ostalih celin zbirajo in upravljajo prostorsko opredeljene podatke različne službe, zato zahteva uporaba in vzdrževanje teh podatkov dobro organizacijo. Zahteve po sodelovanju ne smejo biti omejene le na tehnični vidik vzpostavitve informacijskega sistema, ampak se morajo določiti vse dodatne funkcije sodelovanja, kot so način in organizacija sodelovanja, odgovornost, izmenjava podatkov, kar predstavlja osnovo smotrni prostorski podatkovni infrastrukturi države, regije, lokalne skupnosti. Prostorska podatkovna infrastruktura je postala predmet politike in določil, ki urejajo dostopnost podatkov, uporabo podatkov, cenovno politiko storitev, uravnoteženost finančnih pomoči in financiranja, kakovost upravljanja ter razvoj človeških virov (Čeh 2002; Šumrada 2005).

Prostor okoli nas je podvržen stalnim spremembam, ki so posledica naravnih in antropogenih dejavnikov. Za zagotavljanje varnosti, zdravja in blagostanja, za blaženje negativnih pojavov v družbi, kot sta revščina in lakota, za varovanje okolja, zmanjševanje posledic elementarnih in drugih nesreč ter splošno za sledenje smernicam sonaravnega razvoja je ključnega pomena razumevanje planeta Zemlja kot sistema – sistema, ki vključuje tla in kamnine, vodo in oceane, številne ekosisteme, druge naravne vire, zemljišča kot pravne enote gospodarjenja s prostorom, antropogene pojave, atmosfero itd. Skladno s takim pristopom obravnavanja našega življenjskega prostora se je vzporedno s prostorsko podatkovno infrastrukturo začela razvijati ideja o nujnosti sistematičnega opazovanja Zemlje. Slednje vključuje satelitske, zračne in talne sisteme, ki vsak na svoj način zbirajo in obdelujejo zelo različne vrste podatkov. S kombiniranjem teh podatkov spremljamo spreminjanje in stanje našega okolja in prostora v najrazličnejših podrobnostih. Okoljski podatki so postali pomemben del prostorske podatkovne infrastrukture, saj so neposredno ali posredno vezani na geografski položaj.

2 Metodologija

Na mednarodni ravni je zaznati več pobud za vzpostavljanje sistema dolgoročnega opazovanja Zemlje ter kakovostne prostorske podatkovne infrastrukture. V prispevku predstavljamo nekatere ugotovitve o stanju na tem področju, ki smo jih za našo državo pripravili v okviru mednarodnega projekta krepitve in razvoja dejavnosti opazovanja Zemlje na Balkanu *OBSERVE (Strengthening and development of Earth observation activities in the Balkan area)* v sodelovanju s slovenskimi partnerji projektov *BalkanGEONet* (BalkanGEONet 2012) in *EGIDA* (EGIDA 2012). Omenjeni projekti so aktualni projekti, sofinancirani iz 7. okvirnega programa Evropske komisije, kjer sodelujejo slovenski partnerji.

V okviru projektov *OBSERVE* in *BalkanGEONet* smo partnerji projektov za svojo državo določili večje organizacije, vladne inštitucije in zasebna podjetja, katerih dejavnosti so povezane z zajemom prostorskih podatkov oziroma podatkov o okolju, z njihovim upravljanjem ali s samo uporabo teh podatkov.

V Sloveniji smo prepoznali 110 takih institucij, ki smo jim posredovali anketni vprašalnik o uporabi in razpoložljivosti podatkov oddaljenega opazovanja Zemlje. Na anketni vprašalnik je odgovorilo 44 institucij, od tega je bilo 30 % zasebnih podjetij, 20 % vladnih institucij, 16 % znanstvenih in raziskovalnih centrov, ostali so bili predstavniki drugih javnih ustanov.

3 Prostorska podatkovna infrastruktura in opazovanje Zemlje v Sloveniji kot članici EU

Med krovne dokumente na področju razvoja prostorske podatkovne infrastrukture spada na evropski ravni Direktiva 2007/2/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 14. marca 2007 o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Evropski skupnosti (*INSPIRE*) (Direktiva 2007/2/ES ... 2007, v nadaljnjem besedilu: direktiva *INSPIRE*), ki je stopila v veljavo 15. maja 2007. Direktiva *INSPIRE* določa splošna pravila za vzpostavitev prostorske podatkovne infrastrukture v Evropski uniji za namene okoljskih ter drugih politik in dejavnosti, ki lahko vplivajo na prostor. Prostorsko podatkovno infrastrukturo sestavljajo zbirke prostorskih podatkov in z njimi povezane storitve, metapodatki za prostorske podatke in storitve, omrežne storitve in tehnologije, dogovori o souporabi, dostopu in uporabi podatkov, usklajevanje in spremljanje izvedbe (Ažman 2008). Evropska prostorska podatkovna infrastruktura temelji na infrastrukturah za prostorske podatke, ki jih vzpostavijo države članice. Te morajo zagotavljati, da so prostorski podatki shranjeni, dostopni in vzdrževani na najprimernejšem mestu ter da je možno kombinirati prostorske podatkovne zbirke iz različnih virov v okviru Evropske unije ter jih souporabljati s strani različnih uporabnikov. Slovenija je direktivo *INSPIRE* prenesla v svoj pravni red z Zakonom o infrastrukturi za prostorske informacije (2010). Zakon med drugim določa nacionalno točko za stike z Evropsko komisijo v zvezi z direktivo *INSPIRE* in za učinkovito izvajanje infrastrukture za prostorske informacije, ki je ministrstvo, pristojno za geodetsko dejavnost (Zakon o infrastrukturi za prostorske informacije 2010). Geodetska uprava Republike Slovenije je med drugim zadolžena tudi za prostorski referenčni sistem, ki daje osnovo geolociranju podatkov o okolju in prostoru v prostorski referenčni sistem (Kosmatin Fras s sodelavci 2012).

Na področju oddaljenega opazovanja Zemlje je pomembno izpostaviti sodelovanje Slovenije z Evropsko vesoljsko agencijo *ESA* (*European Space Agency*). Slovenija je postala sodelujoča država agencije januarja 2010, ki predstavlja pomemben korak h polnopravnem članstvu, že danes pa lahko država sodeluje vseh programih agencije, z izjemo osnovnega tehnološko-raziskovalnega programa. Pogajanja za polnopravno članstvo lahko država začne po petih letih statusa sodelujoče države. Slovenija, ki se po vlaganjih v področje vesoljskih raziskav uvršča zelo nizko celo med novimi članicami EU, mora za članstvo v agenciji izkazovati dovolj raziskovalno-razvojne zmogljivosti za sodelovanje pri vesoljskih projektih. Namen takšnega sodelovanja je čim bolj pripraviti državo na polnopravno članstvo in ji omogočiti, da na ustrezen način zgradi lastne raziskovalno-razvojne in industrijske zmogljivosti, da bo lahko kompetentno sodelovala pri skupnih vesoljskih projektih. Prizadevanje Slovenije pri vključevanju v *ESE* se odraža tudi prek Centra odličnosti »Vesolje, znanost in tehnologije« (VESOLJE-SI 2012), ki združuje slovenske raziskovalce na področjih oddaljenega opazovanja Zemlje, meteorologije, astrofizike in različnih področij tehnologij mikro in nano satelitov, satelitskih komunikacij (tudi navigacijskega sistema Galileo), hibridnih anten in radarskih tehnologij, laboratorija za testiranje vesoljskih tehnologij. *ESA* je bila ena izmed predlagateljic pobude za Globalno spremljanje okolja in varnosti *GMES* (*Global Monitoring for Environment and Security*), ki podpira oddaljeno (satelitsko) opazovanje zemeljske površine za okoljske in varnostne namene. V okviru tega programa, uvedenega z Uredbo Evropskega parlamenta in sveta z dne 22. septembra 2010 (Uredba (EU) št. 911/2010 Evropskega ... 2010), se razvija niz storitev, ki bodo evropskim državam pomagale zagotavljati oziroma izboljšati kakovost življenja, predvsem v smislu varovanja okolja in zagotavljanja varnosti. Program *GMES* naj bi v celoti zaživel leta 2014.

4 Dejavnosti opazovanja Zemlje v Sloveniji kot državi Zahodnega Balkana

Dejavnosti opazovanja Zemlje za spremljanje pojavov in dejavnosti v našem okolju, ki so postale pomembna stalnica današnje družbe z namenom zagotavljanja osnove za sprejemanje odločitev v skladu s smernicami trajnostnega razvoja, ne morejo biti omejene na posamezne države. V okviru projektov *OBSERVE* in *BalkanGEOnet* se pripravlja sistem, ki bi uporabnikom na območju Balkana olajšal dostop do podatkov oddaljenega opazovanja Zemlje. Sistem bo pripravljen po zgledu globalnega sistema *GEOSS* (angl. *Global Earth Observation System of Systems*), ki ga je razvila medvladna skupina *GEO* (angl. *Group on Earth Observations*) in je razdeljen na devet področij: naravne in druge nesreče, zdravje, upravljanje z energijo, podnebne spremembe, vodni viri, vreme, upravljanje z ekosistemi, podpora kmetijstvu ter biotska raznovrstnost.

Dejavnosti projekta *OBSERVE* se nanašajo tudi na preučevanje stanja dejavnosti na področju opazovanja Zemlje v izbranih državah z Balkana, iz katerih prihajajo partnerji projekta; to so Albanija, Bolgarija, Bosna in Hercegovina, Grčija, Hrvaška, Makedonija, Romunija, Slovenija, Srbija in Turčija. V regiji so opazne velike razlike v stopnji razvoja dejavnosti na področju opazovanja Zemlje, ki se med drugim odražajo tudi v mednarodnih dejavnostih. Med najbolj dejavne države v regiji spadajo poleg Slovenije še Hrvaška, Grčija in Romunija (preglednica 1).

Slovenijo (podobno kot Bolgarijo, Grčijo in Romunijo) kot članico Evropske unije k dejavnostim vzpostavitve prostorske podatkovne infrastrukture in sistemov za opazovanje Zemlje zavezujejo ali spodbujajo direktive in uredbe Evropske komisije, Evropskega parlamenta in sveta, kot sta že omenjeni direktiva *INSPIRE* ter pobuda *GMES*. Vse omenjene države so članice evropskega združenja geodetskih uprav *Eurogeographics*.

Velik napredek na mednarodni ravni, tudi glede na obravnavane države na Balkanu, je Slovenija storila pred kratkim z odločitvijo, da začne sodelovati z Evropsko vesoljsko agencijo *ESA* in se pridruži pobudi za Medvladno skupino za opazovanje Zemlje *GEO* (Kosmatin Fras s sodelavci 2012), ki je bila predlagana mednarodni skupnosti s strani Združenih držav Amerike leta 2003 (*GEO* 2012). Pobuda je bila s strani Združenih držav, ki se žal ni želela vključiti v Kjotski sporazum, dana kot alternativa dejavnosti za varovanje okolja. Ideja pobude je v združevanju različnih sistemov za spremljanje in merjenje

Preglednica 1: Članstvo obravnavanih držav v mednarodnih združenjih s področja prostorske podatkovne infrastrukture in opazovanja Zemlje (belo – ni članica, svetlosivo – pridružena/sodelujoča članica, temno-sivo – članica).

država	ESA	EuroSDR	GEO	EUMESTAT	ISPRS	Eurogeographics
Albanija						
Bosna in Hercegovina						
Makedonija						
Bolgarija						
Srbija						
Turčija						
Slovenija						
Hrvaška						
Grčija						
Romunija						

Preglednica 2: Šibkosti in izzivi pri vzpostavljanju globalnega sistema za opazovanje Zemlje na Balkanu po mnenju slovenskih organizacij, ponudnikov in uporabnikov prostorskih podatkov – najvišji pomen je pripisan dejavniku, ki je višje v ranžirni vrsti.

izzivi pri vzpostavljanju globalnega sistema za opazovanje Zemlje na Balkanu	rang
stroški vzpostavitve sistema za opazovanje Zemlje na Balkanu	1
neusklajeno delovanje organizacij, ki delujejo na tem področju v državi in v regiji	2
(ne)prepoznavanje nacionalnega interesa	3
organizacijski problemi, pomanjkanje skupne koordinacije v državi in v regiji	4
odpor do sprememb	5
neusklajena zakonodaja v državi in v regiji	6
pomanjkanje interesa za transparentno delo v regiji	7
pomanjkanje strokovnosti pri trenutnih dejavnostih v regiji	8
skupni zakonski okvir za vzpostavitev sistema za opazovanje Zemlje na Balkanu	9

atmosferskih in drugih procesov na Zemlji v enoten globalen sistem GEOSS. Pri tem imajo pomembno vlogo podatki oddaljenega opazovanja Zemlje. Načeloma ne gre za vzpostavitev in izgradnjo novih merilnih in opazovalnih sistemov (čeprav pobuda to tudi podpira), temveč za usklajevanje in povezavo že obstoječih. Pobuda tako poleg zbiranja podatkov predvideva napredno analizo podatkov, modeliranje in napovedovanje okoljskih pojavov, kar naj bi bila pomembna podlaga za odločitve na različnih področjih in ravnih družbe. Na območju Balkana je ugotovljeno, da je v to mednarodno pobudo vključenih le omejeno število držav (preglednica 1). Prek Agencije za okolje Republike Slovenije je naša država nadalje vključena kot pridružena članica v Evropsko organizacijo za uporabo meteoroloških satelitov EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*), katere dejavnosti dopolnjujejo dejavnosti agencije ESA.

Kljub številnim dejavnostim Slovenije na nacionalni in mednarodni ravni je ugotovljeno, da predstavljajo v naši državi velik problem pri zagotavljanju kakovosti izmenjavi in usklajenosti podatkov o prostoru in okolju notranji predpisi posameznih upravljavcev zbirk podatkov (Poročilo o zagotavljanju ... 2010; OBSERVE 2012). Neusklajenost podatkovnih nizov o prostoru in okolju je omenjeno tudi v poročilu o prostorski podatkovni infrastrukturi v Evropi, ki Slovenijo uvršča med države z najnižjo stopnjo usklajenih prostorskih podatkov na nacionalni ravni (Vanderbroucke s sodelavci 2011). Medtem ko je Slovenija dejavna članica mednarodnega združenja za fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), pa žal ni vključena v evropsko skupino EuroSDR (*European Spatial Data Research*), ki je vodilna evropska skupina na področju razvijanja rešitev prostorske podatkovne infrastrukture.

Rezultati analize odgovorov na vprašalnike, ki so bili naslovljeni na večje slovenske organizacije, katerih dejavnosti so povezane z zajemom prostorskih podatkov oziroma podatkov o okolju, z njihovim upravljanjem ali uporabo teh podatkov, kažejo, da te organizacije največji poudarek dajejo kakovosti podatkov ter hitri in enostavni dostopnosti. Kar 67 % ponudnikov teh podatkov je pripravljeno sodelovati v sistemu, ki bi združeval podatke o opazovanju Zemlje v regiji, 25 % je pripravljeno sodelovati, vendar v omejenem obsegu. Največji problem pri izmenjavi oziroma pridobivanju podatkov o okolju in prostoru omenjene organizacije vidijo danes v visoki ceni (70 %), v nepopolnosti (67 %), zastarelosti (64 %) in nedostopnosti podatkov (42 %) ter v napakah podatkov (39 %).

Večina slovenskih organizacij, ki je sodelovala v raziskavi, se zaveda pomena mednarodnega povezovanja in izmenjave podatkov opazovanja Zemlje. 64 % vprašanih meni, da bi bilo treba na tem področju razviti mednarodni pristop, ki bi lahko učinkovito zbiral in analiziral podatke opazovanja Zemlje za smotrne in pravočasne odločitve in ukrepe. Pri tem vprašanju izpostavljajo probleme, ki bi lahko ovirali

vzpostavljane regionalnega sistema za opazovanje Zemlje na Balkanu. V anketnem vprašalniku so morali šibkosti oziroma izzive pri vzpostavljanju globalnega sistema za opazovanje Zemlje na Balkanu, kot so predstavljeni v preglednici 2, oceniti z ocenami od 1 (zelo pomembno) do 5 (nepomembno). Na osnovi povprečnih vrednosti ocen smo šibkosti oziroma izzive razvrstili v ranžirno vrsto, kjer višji položaj označuje večji pomen ozirom izziv (preglednica 2).

5 Sklep

Prostorska podatkovna infrastruktura je v preteklih desetletjih postala ena izmed ključnih infrastruktur sodobne družbe, ki zahteva standardizacijo in usklajevanje med različnimi ponudniki in uporabniki te infrastrukture. Pravočasni in kakovostni podatki o okolju in prostoru so danes nujna podpora pri odločanju o posegih in spremljanju stanja okolja ter hitrih odzivih ob raznih nesrečah. V Sloveniji so se v preteklih desetletjih izdelale različne prostorske podatkovne baze, ki naj bi predstavljale tudi osnovo smotrnemu upravljanju s prostorom, okoljem. Toda spremljanje okolja ne more biti omejeno le na območja znotraj posameznih državnih meja, regij. Mednarodni sistem za opazovanje našega okolja, našega planeta, zahteva standardizacijo podatkov o prostoru in okolju na mednarodni ravni. Slovenija se prek evropskih projektov in članstva v različnih organizacijah vključuje v dejavnosti za izgradnjo mednarodne prostorske podatkovne infrastrukture in sistemov za opazovanje Zemlje, ki so usmerjeni v globalno in racionalno zbiranje podatkov ter njihovo široko uporabo. Za boljše obveščenost in izmenjavo izkušenj bi bilo treba v Sloveniji razviti oziroma okrepiti sodelovanje organizacij, ki delujejo na področjih prostorske podatkovne infrastrukture in opazovanja Zemlje. To velja tudi za sodelovanje v evropskih projektih, kjer bo lahko Slovenija v novem okvirnem programu *Horizon2020* bolj vidno nastopala, če bodo dejavnosti organizacij v Sloveniji, ki delujejo na omenjenih področjih, bolj koordinirane in usklajene. Dodaten problem Slovenije je, da je kot država na dnu držav Evropske unije po višini vlaganja v raziskave in razvoj vesoljske tehnologije, sisteme za opazovanje Zemlje ter prostorske podatkovne infrastrukture.

Opomba: Raziskava, ki je privedla do objavljenih rezultatov, je sofinancirana v okviru sedmega okvirnega programa Evropske unije na osnovi pogodbe št. 265282 (The research leading to these results has received funding from the European union's Seventh Framework Programme under grant agreement No 265282).

6 Viri in literatura

- Ažman, I. 2008: Direktiva INSPIRE in Geodetska uprava. Geodetski vestnik 52-1. Ljubljana.
- Čeh, M. 2002: Analiza geodetskih podatkovnih zbirk za potrebe kmetijstva. Doktorska disertacija, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- EGIDA, 2012. Medmrežje: <http://www.egida-project.eu> (25. 2. 2012).
- GEOSS. 2012. Medmrežje: <http://www.earthobservations.org/geoss.shtml> (25. 2. 2012).
- Groot, R. 1997: Spatial data infrastructure (SDI), an international perspective. Otvořitvena konferenca projekta ONIX. Ljubljana.
- Kosmatin Fras, M., Domajnko, M., Podobnikar, T., Lisec, A. 2012: Earth Observation activities for the environment in Slovenia. South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics 1. Solun.
- Malczewski, J. 1999: GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York.
- Poročilo o zagotavljanju infrastrukture za prostorske informacije v Republiki Sloveniji. Vlada Republike Slovenije. Ljubljana, 2010.
- OBSERVE, 2012. Medmrežje: <http://www.observe-fp7.eu> (25. 2. 2012)

Šumrada, R. 2005: Tehnologija GIS. Ljubljana.

Uredba (EU) št. 911/2010 Evropskega parlamenta in sveta o evropskem programu za spremljanje Zemlje (GMES) in njegovih začetnih operativnih dejavnostih (2011–2013). Uradni list Evropske unije L 276/1, 20. 10. 2010. Bruselj.

Vanderbroucke, D., Crompvoets, J., Janssen, K., Bamps, K., Masser, I., Salvemini, M., van Loenen, B., Probert, M., Eiselt, B. 2011: Spatial data infrastructure in Europe: state of play spring 2011. Leuven.

VESOLJE-SI, 2012. Center odličnosti »Vesolje, znanost in tehnologije«. Ljubljana. Medmrežje: <http://www.vesolje.si> (15. 2. 2012).

Zakon o infrastrukturi za prostorske informacije. Uradni list Republike Slovenije 8/2010. Ljubljana.

BalkanGEONet, 2012. Medmrežje: <http://www.balkangeo.net> (15. 2. 2012).

Direktiva 2007/2/ES Evropskega parlamenta in Sveta o vzpostavitvi infrastrukture za prostorske informacije v Evropski skupnosti (INSPIRE). Uradni list Evropske unije L 108/1, 25. 4. 2007. Bruselj. GEO. 2012. Medmrežje: <http://www.earthobservations.org> (25. 2. 2012).

UPORABA DALJINSKEGA ZAZNAVANJA POVRŠJA ZEMLJE IN GIS V ZAVAROVALNIŠTVU

mag. Aleš Urbic

Zavarovalnica Maribor, d. d. in Center odličnosti VESOLJE-SI
ales.urbic@gmail.com

dr. Krištof Oštir, dr. Žiga Kokalj

Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalnicenter Slovenske akademije znanosti in umetnosti in Center odličnosti VESOLJE-SI
kristof@zrc-sazu.si, zkokalj@zrc-sazu.si

Grega Milčinski, Marjan Jarnjak

Sinergise, laboratorij za geografske informacijske sisteme, d. o. o. in Center odličnosti VESOLJE-SI
grega.milcinski@sinergise.com, marjan.jarnjak@sinergise.com

dr. Tomaž Rodič

Center odličnosti VESOLJE-SI in Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
tomaz.rodic@c3m.si

UDK: 528.8:368

IZVLEČEK

Uporaba daljinskega zaznavanja površja Zemlje in GIS v zavarovalništvu

Zavarovalništvo je panoga, v kateri so informacije daljinskega zaznavanja uporabne v celotnem procesu poslovanja (pri razvoju, prodaji, oceni tveganj, naložbah sredstev, likvidaciji škod, trženju ...). V poštev bodo prišle različne aplikacije, ki bodo v večini temeljile na tehnologiji geografskih informacijskih sistemov (GIS). Predstavljene so tudi značilnosti, ki trenutno veljajo v zavarovalniškem sektorju in jasno nakazujejo, da bo treba nekatere stvari spremeniti v želji po oblikovanju kakovostnih aplikacij za zavarovalništvo. V prispevku smo na primeru razvitih spletnih aplikacij prikazali nekaj načinov uporabe rezultatov daljinskega zaznavanja in GIS-ov v zavarovalništvu in nakazali smernice razvoja na tem področju.

KLJUČNE BESEDE

zavarovalništvo, daljinsko zaznavanje, geografski informacijski sistemi, ocenjevanje in preprečevanje škode

ABSTRACT

Remote sensing of Earth surface and GIS in insurance business

Insurance business is a branch where information about remote sensing and observation of the Earth are useful in the whole business process (development, sales, risk estimation, investment funds, claims settlement, marketing...). We are going to take into consideration different applications, which will be based on the Geographic Information System (GIS). Also characteristics that are currently present in insurance sector are going to be represented. They are clearly showing that certain things should be changed in order to design quality applications for insurance business. In this article web applications in support of insurance business are introduced, also some trends and methods of implementation of the data gained with remote sensing and GIS technologies.

KEY WORDS

insurance business, remote sensing, geographic information systems, risk estimation and prevention

1 Uvod

Ideje in želje uporabiti informacije, ki bi jih lahko pridobili z daljinskim zaznavanjem površja Zemlje, so že zelo stare, a šele tehnološki preboji in rešitve v zadnjih nekaj letih (razvoj novih materialov, mikro- in nanosatelitov, optičnih naprav, laserske tehnologije, IT-ja) omogočajo, da so te informacije vedno lažje dostopne in da so tudi vložki (finančni, materialni) zmeraj manjši.

Zavarovalništvo je eno izmed področij, kjer so lahko omenjene informacije zelo koristne. Kot prevzemnik tveganj se zavarovalnice med drugim ukvarjajo tudi s prevzemom rizikov, ki izvirajo iz naravnih pojavov. Tako imajo velik interes po čim bolj natančnem spremljanju dogajanja v okolju, iz katerega izhajajo riziki, ki jih zavarujejo. Zanašanje le na informacije preteklih škodnih dogodkov ni več dovolj.

Sodobna tehnologija omogoča izdelavo različnih aplikacij za zavarovalnice, s katerimi se lahko koristno uporabijo informacije pridobljene z daljinskim zaznavanjem ter obdelane v GIS-u.

V okviru projekta Center odličnosti VESOLJE-SI izvajamo raziskovalno delo in oblikujemo rešitve za učinkovito in kakovostno zajemanje informacij z daljinskim zaznavanjem. Z GIS-om izvajamo obdelavo, prezentacijo in deseminacijo podatkov. Poleg tega pripravljamo aplikativne rešitve za zavarovalništvo – v času svojega kratkega delovanja smo razvili spletne aplikacije, ki omogočajo uporabnikom (lastnikom nepremičnin – potencialnim in dejanskim zavarovancem) nazoren vpogled v razmere na izbranem območju, ki lahko vplivajo na stopnjo ogroženosti pred naravnimi nesrečami, iz česar izhajajo določeni preventivni ukrepi in tudi višina zavarovalne premije. Zavarovalnice pa lahko tovrstne aplikacije uporabljajo za spremljanje dinamike škodnih dogodkov, kakor tudi za vzpostavljanje ustreznih zavarovalniške politike za učinkovitejše reševanje škodnih primerov in odpravljanje posledic naravnih nesreč.

2 Daljinsko zaznavanje in GIS v zavarovalništvu

Daljinsko zaznavanje se vedno bolj uveljavlja v okoljskih študijah ter pri proučevanju in spremljanju vzrokov in posledic naravnih in tistih nesreč, ki jih povzroči človek. Uspešno je bilo uporabljeno na primer pri zaznavanju gozdnih požarov, opazovanju poplav, v študijah krčenja gozdov, pri spremljanju seizmičnih premikov, študijah ledenikov, meritvah temperature oceanov, zaznavanju cvetenja alg, sledenju onesnaženja v atmosferi in morjih, opazovanju uničenja po vremenskih ujmah, preprečevanju onesnaženja, opazovanju širjenja puščav in napredovanja erozije (Sabins 1997; Allenbach 2005; Oštir s sodelavci 2010).

Ob naravnih nesrečah in preden se le-te zgodijo, lahko satelitske podobe priskrbijo svarilne znake za posamezna naravna tveganja (Guo s sodelavci 2001), z njimi spremljamo prizadeto območje ali opravimo hitro vrednotenje škode za podporo odločanju v reševalnih operacijah (Voigt 2005).

V splošnem ima daljinsko zaznavanje pri preučevanju tveganj vsaj dva velika potenciala:

- (skoraj sočasno) spremljanje dogodka in
- kartiranje sprememb ali dinamike procesa, skupaj z analizo sprememb v pokrajini, analizo škode in vpliva, ter njegovo interpretacijo.

Obstoječi satelitski sistemi za opazovanje Zemlje zbirajo visokoločljive podatke na svetovni ravni in ponujajo veččasovno pokritost. Časovna ločljivost ima pri opazovanju tveganj in nesreč velik pomen, saj se mora prilagajati širokemu časovnemu razponu za opazovanje počasnega razvoja (napovedovanje) in zaznavanje hitrih sprememb (reševanje, ocenjevanje škode). Stalno opazovanje zagotavlja ažurne podatke, ki jih s pomočjo GIS-a analiziramo in interpretiramo v posodobljenih tematskih zemljevidih, ki lahko prikazujejo vpliv naravnih nesreč na okolje. Stalno opazovanje je zato z vidika nesreč pomembno za to, ker tak pristop jamči, da so dosegljive podobe iz časa pred nesrečo in ker način hitrega odziva omogoča zajem podob v kratkem času po nekem dogodku.

Opazovanje različnih procesov je odvisno predvsem od obstoječih vesoljskih plovil (satelitov za opazovanje Zemlje) ter obsežnega nabora tehnologij in tehnik (optično in radarsko večspektralno skeniranje, radarska interferometrija, lasersko merjenje razdalj ...).

Detektorji na današnjih satelitih zagotavljajo prostorsko ločljivost, kakršno je bilo še pred nekaj leti mogoče doseči le z letalskimi snemanji (boljšo od 0,5 m), hkrati se je izboljšala zmožnost absolutnega prostorskega umeščanja posnetkov. Izboljšuje se spektralna ločljivost detektorjev, ki z opazovanjem pri različnih valovnih dolžinah omogoča natančnejšo prepoznavo predmetov (stavbe, vegetacija, ceste, poljščine ...).

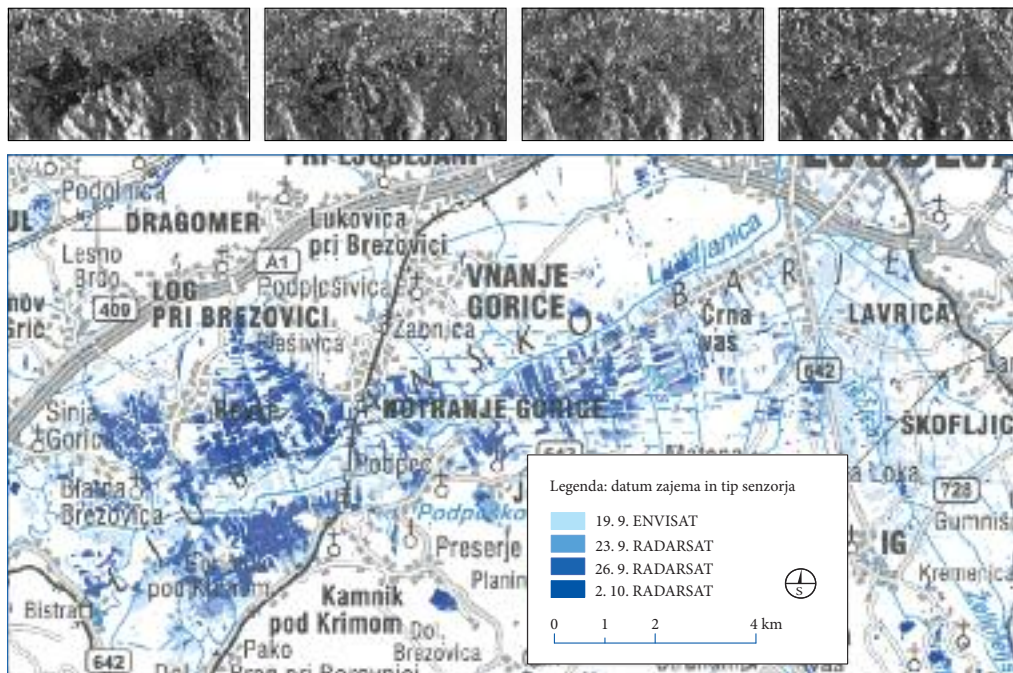
V zadnjih letih pridobivajo na pomenu majhni sateliti (do 500 kg), med katerimi zavidljive zmožljivosti za daljinsko opazovanje dosegajo celo mikro- (do 100 kg) in nanosateliti (do 10 kg). Gre za sodobna vesoljska plovila, sestavljena iz komercialnih komponent »s police«, ali za tehnološke demonstracije in pridobivanje izkušenj z novo tehnologijo, ki obljublja uporabnost tudi na področju daljinskega zaznavanja. Njihova poglavitna prednost je majhna masa ter z njo povezani nizki stroški izstrelitve, s tem pa se povečuje tudi dostopnost in uporabnost tehnologij daljinskega zaznavanja in GIS-a za dejavnosti kot je zavarovalništvo.

Preglednica 1: Osnovne lastnosti detektorjev na izbranih satelitskih sistemih (vir: Spletne strani upravljavcev satelitskih sistemov: GeoEye, DigitalGlobe, SPOT Image, RapidEye, CSA, ESA in ASI).

satelitski sistem	detektor(ji)	število kanalov	prostorska ločljivost (m)	širina pasu snemanja (km)
Ikonos	OSA MS	4	0,8	11
	OSA PAN	1	3,2	
QuickBird	BGIS 2000	4	2,4	16,5
		1	0,6	
SPOT-5	HRG	5	2,5 (10, 20)	60
	HRS	1	10	120
WorldView-1	WorldView-1	1	0,5	17,6
WorldView-2	WV110	8	1,8	16,4
	WV 60	1	0,5	
GeoEye-1	GIS-MS	4	1,6	15,2
	GIS-PAN	1	0,4	
RapidEye	REIS	5	6,5	77
Radarsat-2	Radarsat-2	radar	1 (100)	20 (500)
ENVISAT	ASAR	radar	30 (150)	5 (400)
COSMO-SkyMed	SAR 2000	radar	1 (100)	10 (200)

Z današnjimi sistemi lahko namreč že uspešno spremljamo številne objekte, ki so zanimivi za zavarovalnice, predvsem poljščine (stanje vegetacije, suša, stopnja zrelosti), temperaturo površja, vodne površine (poplave), posledice in žarišča požarov, zemeljske plazove, določimo lahko poškodbe zaradi toče in zaradi vetra (tako na poljščinah in gozdovih kot tudi na stavbah). Daljinsko zaznavanje lahko v veliki meri nadomesti ter dobro usmeri terenski pregled, s čimer poceni oceno in preverjanje škode.

Poleg pozitivnega učinka v fazi **razvoja (oblikovanja) in pridobivanja zavarovanj**, so informacije daljinskega zaznavanja ter analiz GIS-a pomembne tudi v fazi **kontrole in upravljanja z že sklenjenimi zavarovanji**, kot tudi v fazi **reševanja in likvidacije škod**.



Slika 1: Opazovanje poplav septembra leta 2010 v Sloveniji (obseg, časovni razvoj) in s tem ustrezno ukrepanje je bilo omogočeno splošnim javnostim in zavarovalnicam s pomočjo za take primere razvite aplikacije (vir: podatki ESA, CSA, obdelava CO Vesolje-SI, <http://www.space.si/presentation>).

Na področju razvoja in pridobivanja zavarovanj je pomemben faktor kakovost ocene izpolnjevanja elementov zavarovaljivosti rizikov. Med rizike uvrščamo poplave, viharje, neurja, točo, strelo, sušo, potres, zemeljski plaz ipd., na kakovost ocene pa pomembno vpliva dejstvo, ali ima zavarovalnica poleg ocene zavarovaljivosti rizika na razpolago tudi karte ogroženosti za območje, na katerega se nanašajo njihove zavarovalne pogodbe.

Karta ogroženosti za posamezen riziko klasificira območje na nevarnostne cone, ki podajajo informacijo o oceni škode, ki jo lahko riziko povzroči. Osnova za izdelavo kart ogroženosti je karta nevarnosti, ki klasificira območje glede na verjetnost in intenziteto uresničitve rizika. Karta nevarnosti je izdelana na osnovi podatkov o preteklih dogodkih. Karta ogroženosti je rezultat povezave karte nevarnosti s prostorskimi podatki in ostalimi bazami informacij, kot so: baza podatkov o nepremičninah, baza kmetijskih površin, gozdnih površin, naravnih parkov, varovanih območij ipd. V proces so vključeni strokovnjaki s področij hidrologije, hidromehanike, meteorologije, geologije in podobno, na podlagi vsega omenjenega pa se izvaja modeliranje ocene ogroženosti zaradi določenega rizika. Bistvo modeliranja je, da lahko pridobimo informacije o posameznem dogodku, ki bi ga povzročil nek riziko, še preden se ta dogodek dejansko zgodi.

Daljinsko zaznavanje lahko omogoči tudi lažjo **kontrolno in upravljanje z že sklenjenimi zavarovanji**. Pri zavarovanju posevkov na primer lahko spremljamo, kako se razvijajo poljščine in posledično kakšen je pričakovan donos. Nadalje lahko aplikacije daljinskega zaznavanja omogočajo izdelavo škodnih scenarijev v primeru katastrofalnih dogodkov – denimo scenarij močnega neurja s točo uničujoče velikosti, ki prizadene območje, kjer ima zavarovalnica največjo izpostavljenost.

Na področju reševanja in likvidacije škod predstavljajo naravne nesreče in posledično katastrofalni škodni dogodki (na primer poplave, neurja, potresi ...) za zavarovalnice posebno velik organizacijski

izziv. V primeru takšnih dogodkov se zavarovalnice soočajo predvsem s problemi nedostopnosti prizadetega območja, s težavami z oceno obsega škode, z omejenostjo človeških virov, z izračunom realne in pravične odškodnine ter neresničnimi prijavi.

Uporaba daljinskega zaznavanja v skoraj realnem času in obdelava v GIS-u uspešno premoščata omenjene težave, saj omogočata medsebojno primerjavo med posnetki v daljšem časovnem nizu. Tako imamo na razpolago posnetke pred in med škodnim dogodkom ter po njem. Posledično je možno spremljati **razvoj obsega škode** na zavarovanem objektu, s čimer dobimo kakovostnejšo oceno škode, tudi takrat, ko ne gre za izjemne škodne dogodke večjih dimenzij.

Opozoriti je treba tudi na vlogo omenjenih tehnologij na **področju preventive in možnosti informiranja javnosti**. Na ta način pridobljene javno dostopne karte ogroženosti zagotovijo informacije o območjih, ki so še zlasti izpostavljena ujmam (na primer poplave, toča, neurje). Na podlagi tega se lahko izdajajo opozorila o možnosti nastanka škodnih dogodkov, lahko se omogoči nadaljnje obveščanje ljudi o morebitnem napredovanju in širjenju prizadetega območja in o nastajanju dodatne škode, predlagajo pa se lahko tudi preventivni ukrepi.

3 Uporabniške rešitve (aplikacije)

Geografski informacijski sistemi omogočajo enostaven in hiter pregled prostorsko povezanih informacij. Prostorska predstavitev podatkov omogoča iskanje zakonitosti, ki na prvi pogled, če podatke opazujemo zgolj tabelarično, niso razvidne. Te zakonitosti lahko nato s pridomo uporabimo pri načrtovanju poslovanja. V nadaljevanju podajamo le tri primere uporabniških rešitev izmed številnih, ki bi bile zanimive za uporabo v zavarovalništvu.

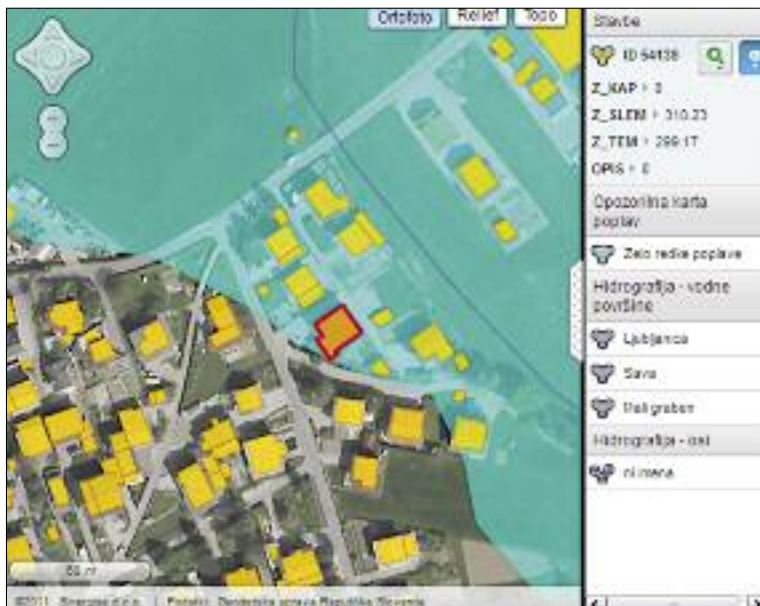
V Sloveniji za večino vrst naravnih nesreč že obstajajo **karte potencialne nevarnosti**, ki temeljijo na teoretičnih modelih in zgodovinskem opazovanju. Te podatke bi lahko s pomočjo daljinskega opazovanja še izboljšali. Če omenjene karte naložimo v GIS aplikacijo, lahko za vsako lokacijo (na primer hišo ali njivo) v trenutku in povsem avtomatizirano določimo stopnjo potencialne nevarnosti. Na osnovi tega se izračunava potencialna nevarnost za zavarovalne police, sproti se obnavljala baza podatkov, hkrati je v vsakem trenutku znano tveganje.

Geolocirane zavarovalne police lahko uporabimo pri **spremljanju škodnih dogodkov**. Obseg škodnega dogodka (na primer obseg območja, ki je bilo poškodovano zaradi toče) lahko namreč enostavno vrišemo v GIS aplikacijo. Po določitvi območja lahko s prostorsko analizo v hipu pridobimo podatke o zavarovalnih policah na tem območju in tako izračunamo predvideni obseg zahtevkov, še preden lastniki začnejo uveljavljati svoje police. Hitra ocena škode je pomembna za posredovanje informacij pozavarovalnicam.

Trenutni obseg informacij o ogroženosti pred naravnimi nesrečami tako obsega naslednje karte:

- opozorilna karta poplav (Agencija Republike Slovenije za okolje),
- karta potresne nevarnosti (Agencija Republike Slovenije za okolje),
- karta primanjkljajev vode v tleh (Agencija Republike Slovenije za okolje),
- karta verjetnosti pojavljanja plazov (Geološki zavod Slovenije),
- povprečna letna hitrost vetra 10 in 50 metrov nad tlemi (Agencija Republike Slovenije za okolje),
- prostorska porazdelitev povprečnega števila dni s točo in sodro v vegetacijskem obdobju (Agencija Republike Slovenije za okolje).

Nekaj omenjenih podatkovnih slojev smo vključili v spletno aplikacijo (<http://naravnesrece.geopedia.si>), kjer lahko uporabniki (fizične osebe ali zavarovalnice) dobijo nazorno predstavo o ogroženosti in tveganjih zaradi različnih naravnih nesreč na območju celotne Slovenije, pa vse do mikro lokacij (na primer za zemljišča, stavbne objekte). Glede na pojavno obliko naravnih nesreč (obravnavamo poplave, potrese, točo, sušo, neurja in viharje) lahko uporabniki preverijo ogroženost lokacije poljubne nepremičnine. Poizvedbo o željeni lokaciji lahko izvedejo prek interaktivnega iskalnika z vnosom naslova



Slika 2: Stavba je na območju zelo redkih poplav s povratno dobo 50 let (vir: spletna stran Space.si <http://www.space.si/presentation>, podatki Geodetske uprave Republike Slovenije in Agencije Republike Slovenije za okolje).

objekta ali z iskanjem v pregledovalnem oknu. Po tem, ko izberejo željen objekt, aplikacija poda celostno poročilo o stopnji ogroženosti objekta glede na konkretno obliko naravne nesreče. Podatki so podani v obliki uvrstitve v ustrezen razred ogroženosti, hkrati pa aplikacija prikaže tudi konkretne preventivne napotke za zmanjšanje škode ob eventualnih naravnih nesrečah. Ko bomo v orodje vključili še satelitske posnetke iz različnih časovnih obdobj (pred dogodkom in po dogodku), bomo dobili zelo koristno dodatno informacijo. Satelitske posnetke bi bilo treba obdelati tako, da bi iz njih izluščili analitične podatke (z uporabo avtomatskega prepoznavanja površin), nato pa naredili prostorski presek z obstoječimi podatki. Rezultat bi pomagal določiti dejansko količino škode, ki bi upoštevala stanje pred dogodkom in po njem.

4 Sklep

Daljinsko zaznavanje v kombinaciji z GIS-om postaja nepogrešljiv vir podatkov za hitro in natančno kartiranje. Izrednega pomena pri hitrem kartiranju s satelitskimi posnetki je zasnova samodejne verige obdelave od surovega posnetka do ustrezne spletne karte ali aplikacije (v nekaj urah).

Spremembe v okolju in zakonitosti Zemlje (geološke, meteorološke, hidrološke in klimatske) postavljajo pod vprašaj zavarovaljivost rizikov, ki izvirajo iz teh zakonitosti. Instrumenta zavarovanja ne želimo izgubiti, saj se je zavarovanje skozi zgodovino pokazalo kot eden izmed spodbujevalcev gospodarskega in ekonomskega razvoja ter kot bistven element zboljševanja kakovosti življenja ljudi. Daljinsko zaznavanje površja v kombinaciji z GIS-om ponuja množico uporabnih informacij, tako na področju preventive kot tudi pri odpravi posledic sprememb v okolju. Z uporabo rezultatov omenjenih tehnologij, kot smo na primerih predstavljenih aplikacij pokazali v prispevku, se na tem področju odpirajo nove možnosti za izboljšanje procesov na področju zavarovalništva. Poleg tega smo prepričani, da so koristi bistveno večje kot stroški vzpostavitve in vzdrževanja sistemskih aplikacij.

5 Viri in literatura

- Allenbach, B., Andreoli, R., Battiston, S., Bestault, C., Clandillon, S., Fellah, K., Henry, J. B., Meyer, C., Scius, H., Tholey, N., Yésou, H., de Fraipont, P. 2005: Rapid EO disaster mapping service. Aaded value, Feedback and perspectives after 4 years of charter actions. IGARSS'05 Proceedings. Orlando.
- Guo, Z., Hu, G., Qian, S. 2001: Spatial detection technology applied on earthquake's independent forecast. 22nd Asian Conference on Remote Sensing. Asian Association on Remote Sensing. Singapore
- Oštir, K., Kokalj, Ž., Veljanovski, T., Rakovec, J., Žagar, N. 2011: Uporaba satelitskega daljinskega zaznavanja za napovedovanje in opazovanje poplav. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2010: zbornik predavanj. Ljubljana.
- Sabins, F. F. 1997: Remote Sensing: Principles and interpretation. New York.
- Voigt, S., Riedlinger, T., Reinartz, P., Künzer, C., Kiefl, R., Kemper, T., Mehl, H. 2005: Experience and perspective of providing satellite based crisis information, emergency mapping and disaster monitoring information to decision makers and relief workers. Geoinformation for disaster management. Berlin.

NEINVAZIVNI NAČIN EVIDENTIRANJA PODZEMNE GOSPODARSKE INFRASTRUKTURE Z GEORADARSKO METODO

dr. Branko Mušič

Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani in GEARH družba za arheološke in geofizikalne raziskave d. o. o., branko.music@ff.uni-lj.si

dr. Tomaž Podobnikar

Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstveno raziskovalni center slovenske akademije znanosti in umetnosti in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, tp@zrc-sazu.si

mag. Nikolaj Šarlah

Oddelek za gospodarsko javno infrastrukturo, Geodetska uprava Republike Slovenije in Višja strokovna šola Celje, niko.sarlah@gov.si

UDK: 528.8:711.8(497.4)

IZVLEČEK

Neinvazivni način evidentiranja podzemne gospodarske infrastrukture z georadarsko metodo

Metode daljinskega zaznavanja se vse bolj uveljavljajo pri raziskovanju in evidentiranju podzemnih vodov gospodarske infrastrukture. S tem se izognemo ogrožanju podzemnih vodov z gradbenimi posegi. Predstavljamo izzive, s katerimi se srečujemo pri evidentiranju gospodarske infrastrukture v zapletenem urbanem okolju Vodnikovega trga v Ljubljani, in sicer z georadarsko metodo GPR (ground penetrating radar). Z izbranimi postopki obdelave rezultatov smo podzemne vode gospodarske infrastrukture prikazali v skladu s kriteriji prostorske natančnosti določitve položaja v prostoru, ki veljajo za slovenski zbirni kataster gospodarske infrastrukture. Pričakujemo, da nam bodo podatki, pridobljeni v različnih okoliščinah urbanega okolja, služili kot podlaga pri razvoju novega, naprednejšega modela evidentiranja gospodarske infrastrukture. Model bo omogočal zanesljivo določitev položaja, premera, globine ter materiala vodov za širok nabor različnih urbanih okolij.

KLJUČNE BESEDE

neinvazivne metode, georadar, podzemna gospodarska infrastruktura, daljinsko zaznavanje, geografski informacijski sistemi

ABSTRACT

Recording of buried utility pipes with noninvasive ground penetrating method

Remote sensing methods are increasingly used in the exploration and recording of subsurface utilities. This is to avoid endangering the buried infrastructural installation with the construction works. The challenges are faced in recording of buried utilities in a complex urban environment at the Vodnik Square in Ljubljana, applying a Ground Penetrating Radar (GPR) method. With the selected processing flow, the buried utilities are presented in accordance with the spatial accuracy criteria, required for Slovenian consolidated cadastre of urban subsurface infrastructure installation. We expect that the data obtained in diverse urban circumstances will serve as a basis for developing a new, more advanced model of the infrastructure recording. The model will enable a reliable determination of the relevant parameters: position, diameter, depth and material composition for a wide range of different urban environments.

KEY WORDS

non-destructive methods, ground penetrating radar, underground infrastructure, remote sensing, geographic information systems

1 Uvod

V Sloveniji znaša skupna enoletna neposredna škoda na gospodarski infrastrukturi (v nadaljevanju GI) 2,1 mio € ali 1,04 €/preb. (Rakar s sodelavci 2010), medtem ko je v tujini znatno višja: Belgija (28 mio €, 5,22 €/preb.), Nizozemska (40 mio €, 2,41 €/preb.), Velika Britanija (164 mio €, 2,71 €/preb.). Z razvojem primerne metode bi lahko preprečili neposredno in posredno škodo na GI-ju, ki je posledica poškodb.

V splošnem so lahko metode evidentiranja in odkrivanja podzemnih vodov GI-ja delno destruktivne ali povsem nedestruktivne. To je odvisno od namena evidentiranja, predvsem pa od stopnje tveganja poškodovanja ciljnega objekta. Med gospodarsko infrastrukturo sodijo vsi komunalni in elektroenergetski vodi ter elektronske komunikacije.

Obstaja interes lastnikov in upravljavcev GI-ja po izboljšanju položajne natančnosti evidentirane in odkrivanju neevidentirane infrastrukture ter po določevanju njene globine, orientacije, velikosti in oblike s pomočjo georadarske nedestruktivne elektromagnetne geofizikalne metode. V zadnjih letih se v raziskovalnih okoljih na področju plitve podpovršinske geofizike uveljavlja naziv plitva geofizika visoke ločljivosti (*high resolution shallow geophysics*).

Nedestruktivni vidik geofizikalnih raziskav se je izkazal za zelo obetavnega, saj omogoča raziskovati in evidentirati podpovršinske ciljne objekte brez fizičnih posegov in nepotrebnega ogrožanja podzemnih vodov. Zahvaljujoč geofizikalnim raziskavam lahko GI hitreje in ceneje zamejimo v njenih realnih okvirih. Definiranje natančnega položaja GI-ja v prostoru je pomembno tudi za varovanje pred gradbenimi posegi v prostoru. Referenčni nivo je v primeru podpovršinskih raziskav zemljina, ki predstavlja medij, iz česar sledi, da vsi drugi viri fizikalnih anomalij sodijo v domeno šuma oz. motenj.

2 Metoda

Georadarska metoda GPR (*ground penetrating radar*) je sorazmerno mlada visokoločljivostna geofizikalna metoda, njeni začetki segajo v 60-ta leta prejšnjega stoletja, ko so jo uporabili za določanje debeline polarnega ledu (Komel in Pavlič 2009). Prvi primer uporabe georadarja sega v leto 1976 v Chaco Canyon v Novi Mehiki, kasneje se je njegova uporaba v tovrstnih raziskavah zelo razširila. V Sloveniji so georadar prvič preizkusili leta 1991 (Brezigar s sodelavci 1996). V zadnjih petnajstih letih je metoda doživela velik razcvet, saj je bila dodobra pojasnjena teoretična, tehnična in tehnološka osnova širjenja georadarskega elektromagnetnega valovanja (v nadaljevanju EMV). Posledično so bili razviti dovolj kakovostni modeli za izvedbo zanesljivih raziskav (Jol 2009).

Največja globina, ki jo doseže EMV, je funkcija frekvence valovanja in fizikalnih lastnosti medija, skozi katero se širi (Thomas s sodelavci 2008). Fizikalni lastnosti, ki vplivata ter opredeljujeta način širjenja oziroma dušenje EMV-ja v konkretnem mediju, so električna prevodnost σ [$\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$] in magnetna permeabilnost μ [N/A^2]. Elektromagnetne lastnosti medija, v našem primeru zemljine, so odvisne od sestave in vsebnosti vlage, ki vplivajo na širjenje oziroma dušenje valov. Dielektrične snovi omogočajo širjenje EMV-ja brez znatnega dušenja. Bolj je zemljina električno prevodna, manj je dielektrična. Dielektrična konstanta je definirana kot sposobnost snovi za skladiščenje električnega naboja. Večja je razlika med relativno dielektrično konstanto različnih snovi pod površjem, večja je amplituda odbojev (refleksijski koeficient). Ob tem je treba poudariti, da se energija radarskega EMV-ja skozi kovino ne širi, saj ga kovinski objekti v celoti odbijejo (Annan 2003; Rhebergen s sodelavci 2004; Lopera in Milišavljević 2007).

Z georadarjem prek oddajne antene, usmerjene v tla, pošiljamo impulze elektromagnetne energije in s sprejemno anteno registriramo čase in amplitude povratnih valov. Ob poznavanju (približkov) dielektrične konstante in s tem hitrosti širjenja EMV-ja v preiskovanem mediju lahko čase povratnih odbojev pretvorimo v globine. Georadarska metoda temelji na pretvorbi dvojne časa; to je čas poto-

vanja valovanja od oddajne do sprejemne antene v razdaljo oziroma globino do objekta, če je znana hitrost širjenja EMV-ja.

Georadska metoda se danes pogosto uporablja za neinvazivno odkrivanje in evidentiranje podzemnih vodov GI-ja v ruralnih in urbanih okoljih. Zaradi heterogenosti preiskovanega medija v urbanih okoljih, ki se običajno sestoji iz različnih nasutij starejših gradbenih faz, polnil izkopov in podobnega, se za določanje globine poslužujemo približkov dielektričnosti. Rezultati tako do določene mere odstopajo od pravih globin, vendar ne več kot nekaj cm za plitvejšje objekte in do nekaj dm za objekte v večjih globinah. To je sprejemljiva natančnost za preverjanje obstoječih načrtov podzemnih vodov in/ali evidentiranje novih oziroma neevidentiranih vodov.

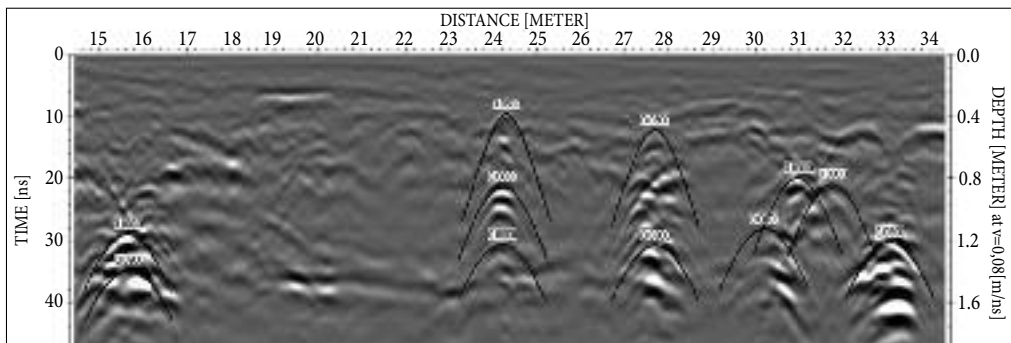
Ob relativno natančnem določanju globin radarskih odbojev podzemnih vodov mora biti zagotovljena tudi ustrezna natančnost njihovega položaja v prostoru v izbranem koordinatnem sistemu. Odvisno od značilnosti območja, predvidenega za georadarsko raziskavo, se položaj georadarja oziroma georadarskih odbojev (podzemnih vodov) določa s pomočjo geodetske klasične terestrične izmere ali uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (izmera GNSS) (Lehmann in Green 1999; Streich 2007; Boniger in Tronicke 2010).

Za prikazovanje rezultatov se pogosto uporabljajo prerezi preiskovane prostornine tal v poljubnih smereh, s čimer dobimo natančen vpogled v prostorske odnose posameznih elementov. Ta postopek je še posebno dobrodošel za interaktivno interpretacijo v 3D-okolju. Meats (1996) je z uvedbo postopka migracije, ki v veliki meri zmanjša subjektivnost interpretacije rezultatov georadarske raziskave, naredil prvi odločnejši korak v smeri 3D-prikaza georadarskih rezultatov. Kvantitativne podatke za 3D-prikaz GI-ja dobimo z izbranim naborom postopkov obdelave radarskih prerezov in analizo posamičnih radarskih odbojev (Van der Kruk 2001; Leckebusch 2003).

3 Rezultat uporabe georadarske metode za pridobivanje metričnih podatkov GI-ja

Predstavljamo učinkovito uporabo georadarske metode za odkrivanje podzemnih vodov gospodarske infrastrukture na primeru Vodnikovega trga v Ljubljani (Mušič 2010). Gre za analizo nabora georadarskih podatkov, pridobljenih za predhodne arheološke raziskave pred gradbenimi posegi v prostor za načrtovano podzemno garažo. Pri raziskavi smo uporabili refleksijsko georadarsko tehniko z vzporednimi, 0,5 m oddaljenimi profili v dveh pravokotnih smereh (sliki 5 in 7). Priporočljiva razdalja med prerezi, kjer prihaja do relativno malo spreminjanja smeri, je 0,5 do 1 m in le izjemoma, kjer terenske okoliščine tega ne dopuščajo, več (Jol 2009). Za meritve smo uporabili krmilno-procesno enoto TerraSIRch GSSI SIR-3000 proizvajalca *Geophysical Survey Systems, Inc*, s 400 MHz monostatično anteno istega proizvajalca. Za določanje ustrezno majhne in enakomerno odčitane razdalje med sledmi vzdolž profila (na 2 cm), ki je nujna za dobro horizontalno ločljivost, smo uporabili predhodno umerjeno merilno kolo. Povratne georadarske odboje smo registrirali v časovnem oknu 50 ns (dvojni čas) (slika 1). Obdelavo podatkov smo izvajali s programsko opremo *Reflexw* verzija 6.0 podjetja *Sandmeier software*. V nadaljevanju so navedeni ključni postopki obdelave, prilagojeni za reševanje problemov pri odkrivanju GI-ja (slika 4). Časovne preseke je možno prikazati le v 3D modulih, kjer s programskim orodjem združimo več med seboj vzporednih profilov v enotno datoteko, v kateri so vrednosti med posameznimi profili interpolirane (slike 3, 5, 6 in 7).

Delež elektromagnetnega valovanja, ki se odbije na diskontinuitetah med dvema različnima materialoma (na primer podzemni vod/polnilo izkopa), je odvisen od refleksijskega koeficienta za te materiale ter od razmerja med valovno dolžino EMV-ja in premerom konkretnega podzemnega voda. Ločljivost in globino dosega georadarskega signala v praksi nadziramo z izbiro ustrezne centralne frekvence oddajne antene. Za odkrivanje večine zgoraj navedenih podzemnih vodov je najustreznejša izbrana oddajna antena s centralno frekvenco 400 MHz, ki je zelo učinkovita za odkrivanje tovrstnih objektov do



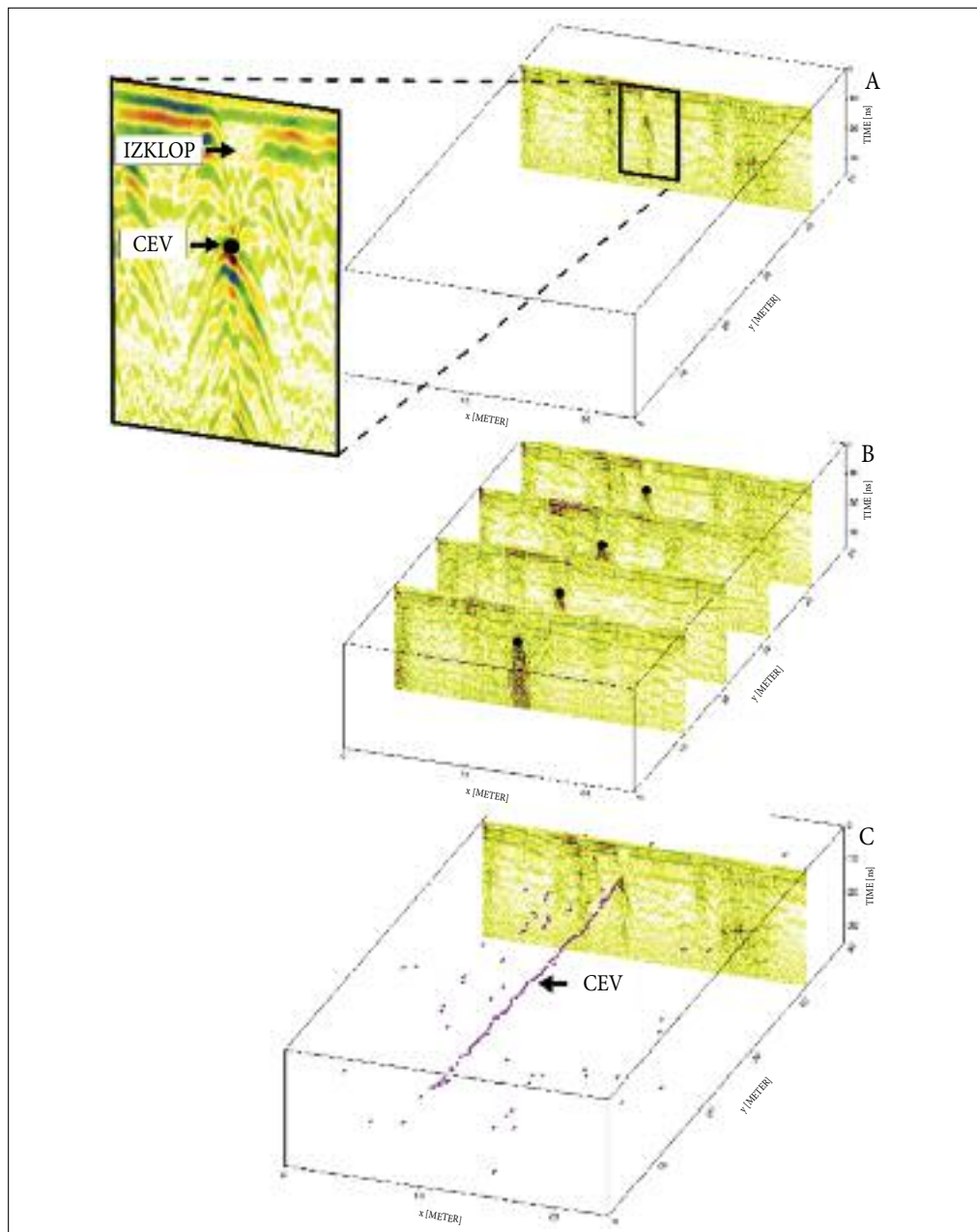
Slika 1: Primer 2D radargrama s tipičnimi odboji elektromagnetnega valovanja od podzemnih vodov GI-ja. Ilustriran je tudi preprost način določanja hitrosti širjenja elektromagnetnega valovanja v preiskovanem mediju z metodo prilagajanja hiperbol.

X [m]	Y [ns]	Y' [m]	A	Premera [m]	Komentar	X _{gk}	Y _{gk}
0.7	18.755617	0.7502	-27719	0.2	-	396004.1681	91352.5417
1.44	18.464834	0.7386	-15675	0.2	-	396004.8125	91352.9054
4.36	17.59248	0.7037	-17928	0.05	-	396007.3555	91354.3406
5.3	18.028656	0.7211	8199	0.05	-	396008.1741	91354.8026
6.92	15.120809	0.6048	19192	0.05	-	396009.5849	91355.5989
7.36	17.59248	0.7037	6208	0.05	-	396009.9681	91355.8151
11.3	13.957669	0.5583	-415	0.05	-	396013.3994	91357.7517
14.14	7.705797	0.3082	906	0.05	-	396015.8727	91359.1475
14.64	7.560404	0.3024	4183	0.05	-	396016.3081	91359.3933
20.38	19.773365	0.7909	22680	0.2	-	396021.3069	91362.2145
26.74	47.834095	1.9134	15758	0.2	?	396026.8457	91365.3405
27.68	20.354935	0.8142	7702	0.4	-	396027.6643	91365.8025
34.7	18.464834	0.7386	9339	0.05	-	396033.7779	91369.2528
36.7	18.65	0.746	2333	0.3	-	396035.5196	91370.2358
38.82	17.737871	0.7095	-5738	0.2	-	396037.3659	91371.2778
47.1	11.340607	0.4536	8534	0.2	-	396044.5767	91375.3475

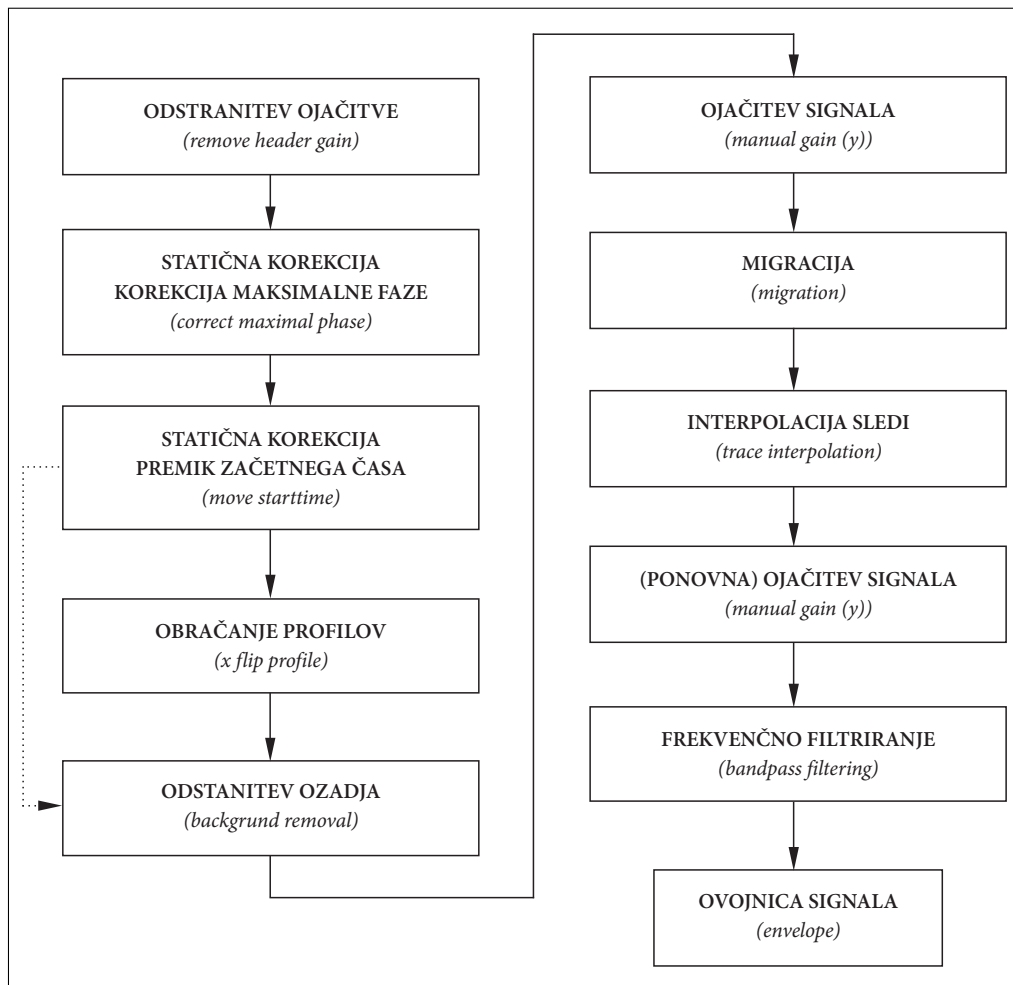
Slika 2: Izsek osnovnih podatkov o podzemnem vodu, pridobljenih iz analize 2D radargrama: položaj voda (x, y), njegova globina pod površino, amplituda odbitega signala (= vrsta materiala) in ocena premera voda.

globine približno 2 m. Podzemne vode v splošnem zanesljivo prepoznamo na georadarskih profilih 2D radargrama zaradi relativno velikih razlik v dielektričnosti v odnosu do medija, v katerem se nahajajo (nasutje/polnilo izkopa) (slika 1).

Najbolj razširjen način prikazovanja rezultatov georadarskih opazovanj tudi za evidentiranje GI-ja je s t. i. časovnimi preseki (*time slices*), ki predstavljajo niz vzporednih in praviloma enako oddaljenih radarskih prereзов (sliki 3 in 5). Rezultat časovnih presekov je diagram enakih amplitud odbojev v istem



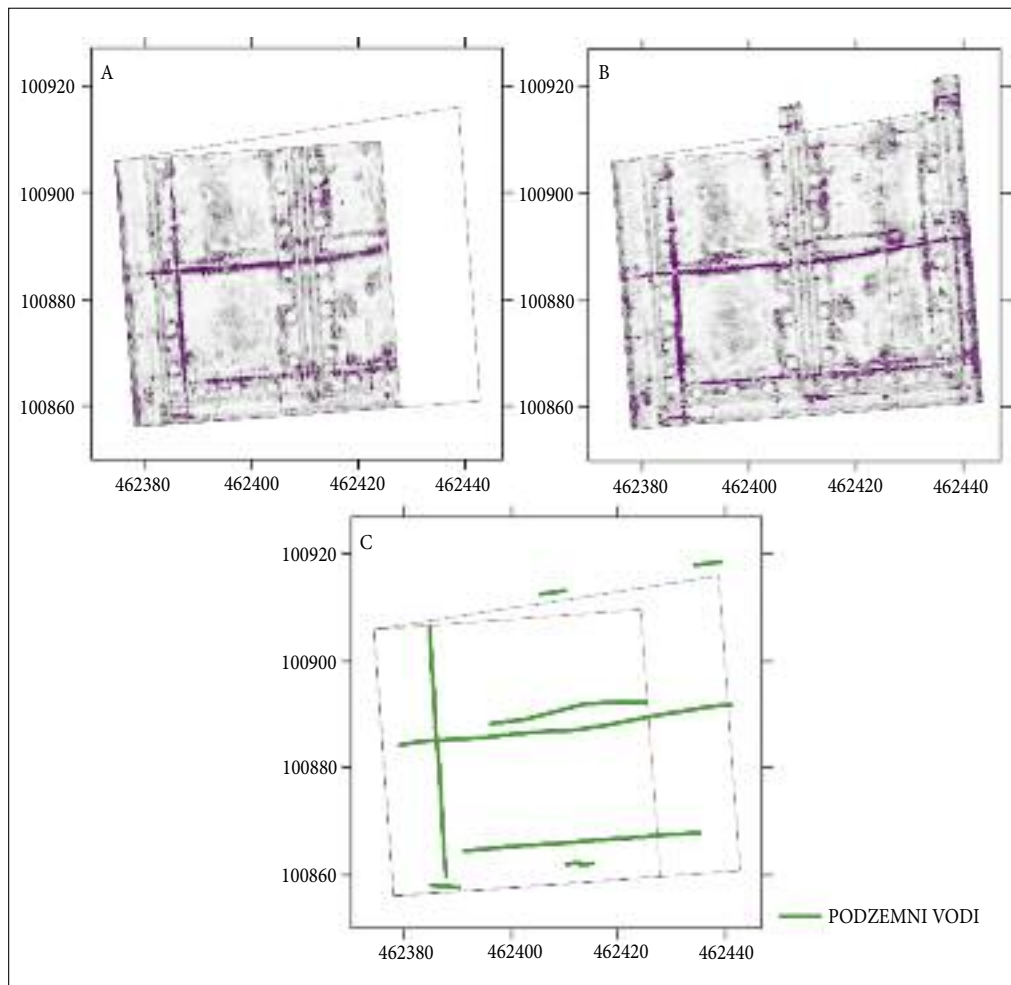
Slika 3: A: Georadarski profil z značilnimi hiperboličnimi odboji elektromagnetnega signala na izraziti dielektrični meji med polnilom izkopa in cevjo, ki jo georadarski profil prečka pod kotom približno 90° . Na radargramu jasno prepoznamo tudi robove izkopa. B: Vzporedni georadarski profili z označenimi vrhovi hiperbol, ki predstavljajo položaj cevi. C: Položaj cevi določen s postopkom samodejnega izbiranja temen hiperboličnih odbojev (auto pics).



Slika 4: Pomembnejši koraki pri obdelavi georadarskih profilov, ki smo jih uporabili za prikazovanje odbojev s časovnimi preseki.

časovnem območju povratnih valov, ki predstavljajo serije »tlorisov« GI-ja na izbranih globinah. K zanesljivosti interpretacije pomembno prispevajo meritve v dveh pravokotnih smereh, ker je na ta način kot med poljubno usmerjenimi podzemnimi vodi GI-ja in georadarskimi profili največ 45°, kar je pomembno za natančno oceno premera voda. V našem primeru je tlorisni prikaz podzemnih vodov GI-ja rezultat analize časovnih presekov za vsako od smeri georadarskih profilov posebej (slika 5). Lahko pa v fazi obdelaveseriji vzporednih in med seboj pravokotnih profilov tudi združimo v skupne časovne preseke. Poleg linij izrazitih radarskih odbojev od podzemnih vodov GI-ja prepoznamo še številne druge bolj ali manj kaotične odboje, ki so rezultat sorazmerno velikih razlik v dielektričnosti (refleksijskih koeficientov) na mejah različnih materialov (slika 5).

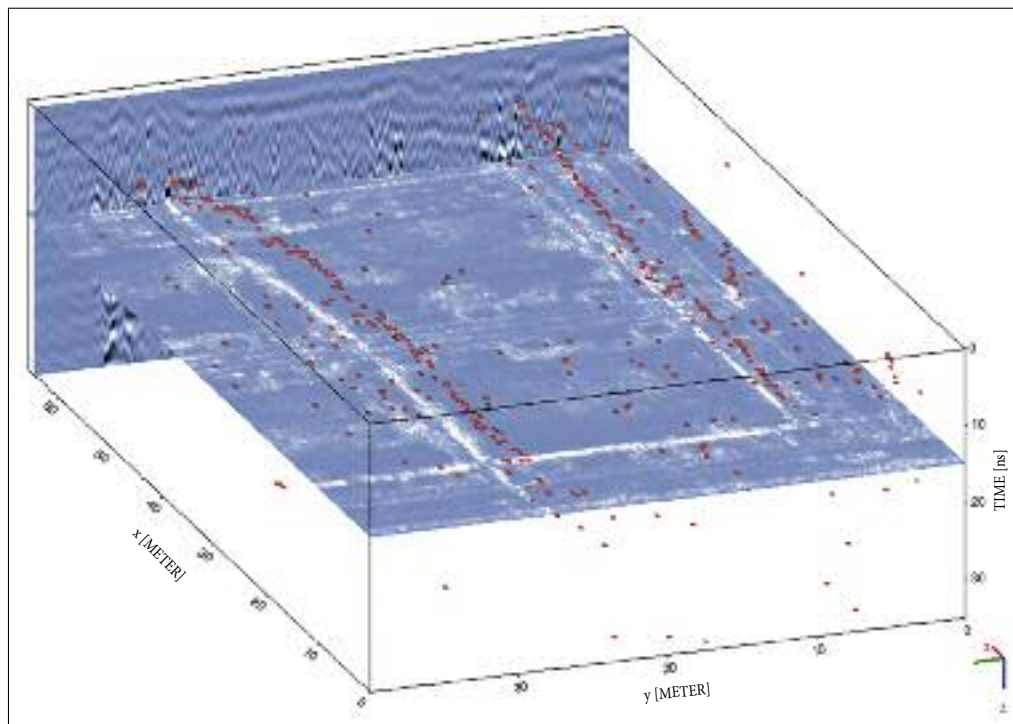
Poudariti je treba, da obdelava podatkov obsega zaporedje postopkov, ki omogočajo povečanje razlike med koristno informacijo oziroma signalom in vsemi drugimi motečimi viri anomalij oziroma šumom (Yilmaz 1987). Zaporedje korakov pri obdelavi podatkov ni točno določeno in je odvisno od posebnosti



Slika 5: A: Časovni preseki vzporednih georadarskih profilov v smeri vzhod–zahod. B: Časovni preseki vzporednih georadarskih profilov v smeri sever–jug C: Tlorisni prikaz podzemnih vodov na podlagi časovnih presekov vzporednih georadarskih profilov v dveh pravokotnih smereh (A in B).

zajema, vrste ciljnih objektov raziskave, značilnosti okoljskih danosti in posebnosti šumov, ki se v konkretnem okolju pojavljajo. Postopek obdelave je v veliki meri subjektiven, ker temelji na izkušnosti raziskovalne ekipe. Najpomembnejši postopki obdelave, ki so bili v našem primeru uporabljeni za analizo in prikazovanje rezultatov georadarske raziskave, so prikazani na sliki 4.

Relativne položaje, podane s koordinatami radarskih odbojev v prostoru, smo določali glede na njihov položaj znotraj ortogonalne mreže postavljene z geodetsko terestrično metodo izmere. Pri georadarskih meritvah uporabljamo praviloma dva načina določanja razdalj vzdolž profila. Prvi način so meritve v časovni domeni (*time mode*), ko v enakih razdaljah vzdolž georadarskega profila prožimo »markerje« za naknadno umerjanje georadarskega profila. Drugi način so meritve z merilnim kolesom, ki proži radarske signale na izbrani razdalji (*distance mode*). Ocena natančnosti položaja radarskih odbojev/infrastrukturnih objektov znotraj ortogonalne mreže je v obeh primerih podobna in je približno ± 10 cm

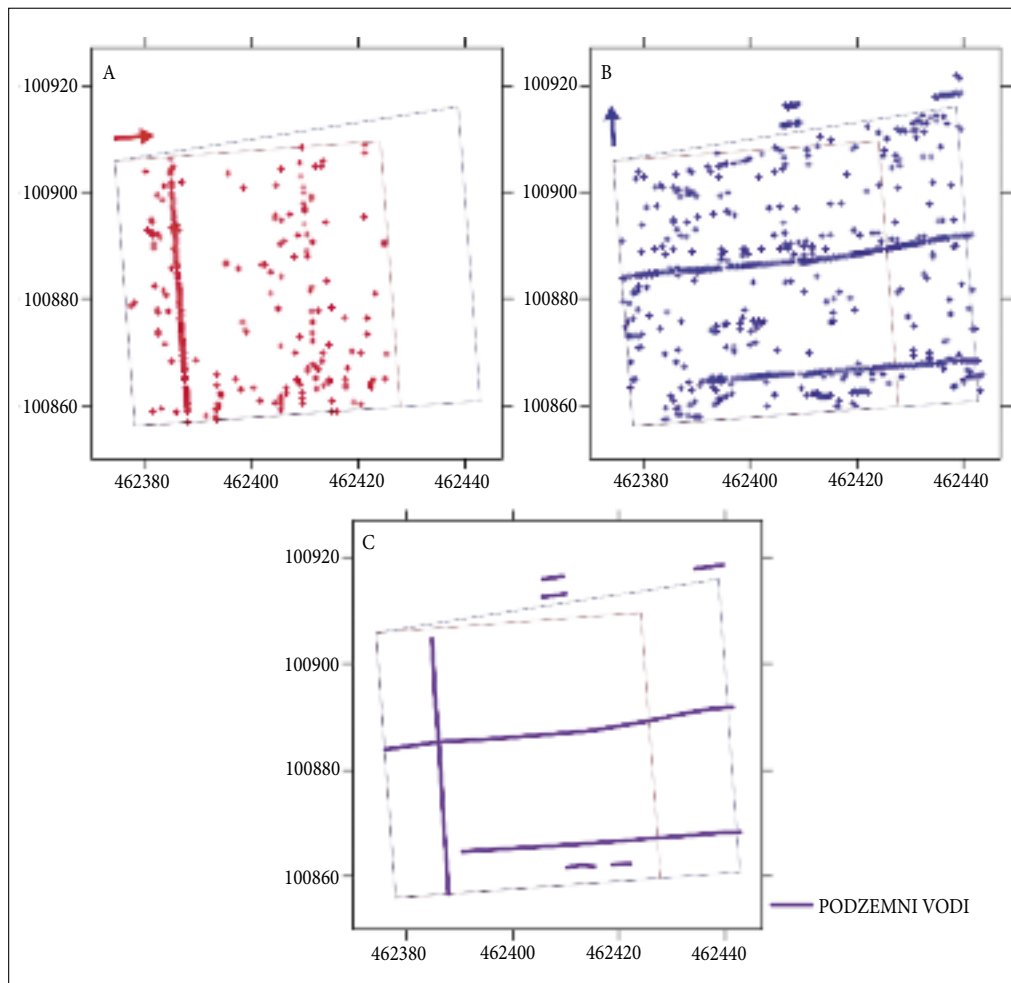


Slika 6: 3D prikaz položaja podzemnih vodov s samodejnim določanjem vrhov hiperboličnih odbojev, ki so posledica spremembe dielektričnosti na meji polnila izkopa in cevi.

na ravnih površinah in nekoliko več na območjih z manjšimi fizičnimi preprekami. Na natančnost določanja položaja nekoliko vpliva tudi globina objekta, ker pri interaktivnem določanju položaja temena radarskega odboja neposredno na radarskem profilu praviloma lažje določimo položaj odboja za plitve objekte, kjer so hiperbole ozke kot pri globlje ležečih objektih, kjer so lahko hiperbole bistveno širše (slika 1).

Poleg globine, položaja in smeri nas običajno zanima še ocena premera podzemnega voda. Premer infrastruktur praviloma ocenjujemo po zvrčanju hiperboličnih odbojev v območje izvora radarskega odboja v temenu hiperbole z uporabo migracije. Ocena natančnosti določanja premera virov radarskih odbojev/infrastrukturnih objektov po uporabi »migracije« je ± 5 do največ ± 10 cm. Tudi v tem primeru velja, da je natančnost določanja premera infrastrukturnih objektov odvisna od njihovega dejanskega premera, globine, kakor tudi od materiala v katerem se infrastrukturni objekti nahajajo. Oblika in kontrastnost radarskih odbojev je odvisna od razlik v dielektričnosti, kakor tudi od homogenosti in izotropnosti medija. Ob tem je treba opozoriti, da lahko v nekaterih primerih precenimo premer infrastrukture pri radarskih profilih, ki ne sekajo infrastrukturnega voda natančno pod kotom 90° .

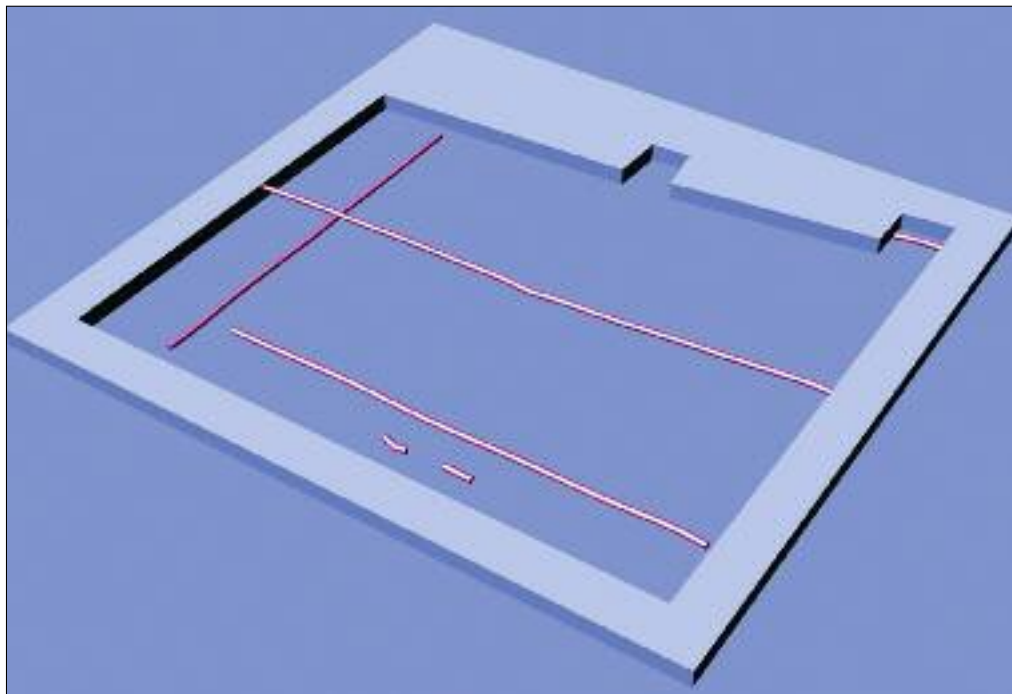
Rezultate georadarske raziskave smo prikazali tudi z interaktivno interpretacijo radarskih odbojev (sliki 6 in 7). Značilne signale, za katere sklepamo, da se nanašajo na podzemne vode, lahko na radarogramih namreč posebej označimo. Izbrano mesto na profilu predstavlja točno določen vzorec na točno določeni sledi (sliki 1 in 3). Koordinate označenega mesta oziroma vzorca shranimo v obliki ASCII tabele za medopravilnost z drugimi programi, ki so integralni del GIS-ov (slika 2). Izbiranje temen hiperboličnih odbojev lahko opravljamo ročno, vendar je v primeru velikega števila podatkov bolj smiselno uporabiti samodejno izbiranje, ki je manj intuitivno, veliko hitrejšo in tudi objektivnejše. Za izbiranje



Slika 7: A: Tlorisni prikaz položaja podzemnih vodov s samodejnim določanjem vrhov hiperboličnih odbojev v vzporednih georadarskih profilih v smeri vzhod–zahod. B: Tlorisni prikaz položaja podzemnih vodov s samodejnim določanjem vrhov hiperboličnih odbojev v vzporednih georadarskih profilih v smeri sever–jug. C: tlorisni prikaz podzemnih vodov na podlagi samodejnega določanja vrhov hiperboličnih odbojev v dveh pravokotnih smereh (A in B).

smo uporabljali orodje samodejnega izbiranja (*auto picks*), z nastavitvijo za posamezne objekte (*single object*) (slika 6).

Prednost tega načina je vpogled v amplitude radarskih odbojev, ki so pomembne za prepoznavanje različnih vrst vodov, z istočasnim opazovanjem presekov radarskih odbojev v izbranih ravninah, kar omogoča natančne zaključke o položaju podzemnih vodov v prostoru (sliki 6 in 8). Na ta način hitro in zanesljivo ocenimo ob naklonu še relativne razlike v globini odkritih vodov. Za določitev podzemnega voda morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji: polariteta mora ustrezati izbrani (pozitivna ali negativna), reflektor se mora nahajati v izbranem časovnem in prostorskem intervalu, amplituda odboja in kontrast amplitude v določenem prostorskem intervalu morata preseči določen prag (sliki 6 in 7).



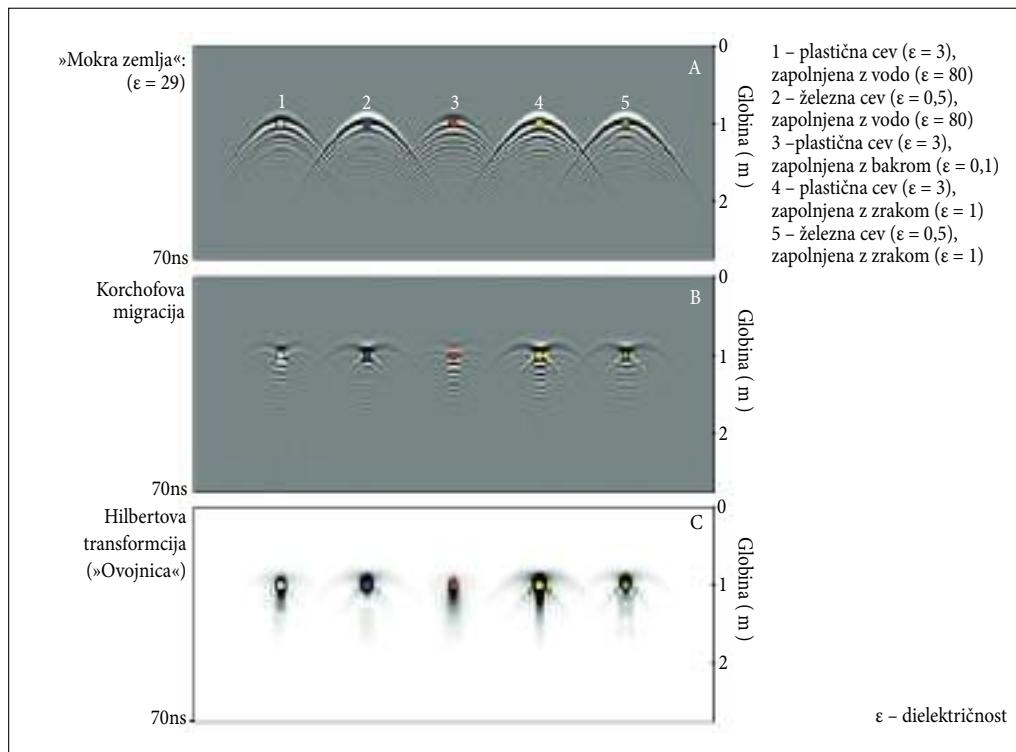
Slika 8: 3D prikaz podzemnih komunalnih vodov na podlagi rezultatov georadarske metode.

Poleg položaja, ocene globine in premera pomaga pri določitvi vrste podzemnega voda tudi amplituda radarskega odboja, ker je odvisna od materiala cevi in zapoljenosti cevi. Na osnovi amplitud radarskih odbojev lahko npr. zanesljivo ugotovimo, ali gre za kovinsko ali nekovinsko cev. Kovinski vodi povzročajo izrazitejše radarske odboje. Pri načrtovanju ustrezne strategije georadarske raziskave kot tudi pri prepoznavanju podzemnih vodov v fazi interpretacije pomagajo 2D sintetični modeli (slika 9). Z modeliranjem sintetičnih računalniških georadarskih signalov za različne vrste podzemnih vodov iz katastra gospodarske javne infrastrukture pomembno prispevamo k zanesljivosti interpretacije. Lahko pa so ti modeli tudi prognostični v smislu ocene zanesljivosti odkrivanja določenih vrst podzemnih vodov v konkretnem realnem okolju.

4 Sklep

Predstavili smo metodo uporabe georadarske metode za pridobivanje metričnih podatkov GI-ja. V realnih situacijah praviloma razpolagamo z različno zanesljivimi ocenami geometrije, velikosti ciljnih objektov, njihove globine in spremenljive dielektričnosti široke palete različnih materialov v nasutjih za izravnave in polnila izkopov. Slednje pomembno dodatno prispeva k spremenljivosti pogojev v preiskovanem mediju. Veliko število nenadzorovanih spremenljivk v realnem okolju onemogoča ustvarjanje univerzalnega zaporedja postopkov za obdelavo georadarskih signalov za učinkovito in zanesljivo prepoznavanje posameznih podzemnih elementov GI-ja.

Izsledki raziskave prepoznavanja in pridobivanja metričnih podatkov ciljnih objektov GI-ja na primeru Vodnikovega trga v Ljubljani so vsekakor odlično izhodišče za načrtovanje tovrstnih raziskav za kompleksnejše modele opazovanj. Ocenili smo srednjo dielektričnost medija, kjer so podzemni vodi,



Slika 9: A: Primer sintetičnih modelov georadarskih odbojev za izbrane materiale in polnila podzemnih vodov v »vlažnem okolju«. B: Sintetični modeli georadarskih odbojev po zvrčanju hiperbol z uporabo kirchoffove migracije. C: Sintetični modeli georadarskih odbojev po zvrčanju hiperbol z uporabo kirchoffove migracije in odpravljanju bipolarnosti signalov s funkcijo ovojnice.

njihov položaj, globino in usmerjenost ciljnih objektov. Rezultati bodo zagotavljali zanesljivo identifikacijo najrazličnejše podzemne infrastrukture v zapletenih razmerah realnih urbanih okolij. Zaradi izredne heterogenosti in s tem nepredvidljivosti urbanega okolja, bi bilo treba zanesljivost rezultatov georadske raziskave dodatno podpreti s preudarno izbranim naborom empiričnih izsledkov, pridobljenih pri nadzorovanih pogojih v »testnih bazenih«. S tem bi zadostili zahtevam slovenskega zbirnega katastra podzemne gospodarske infrastrukture.

5 Viri in literatura

- Annan, P. A. 2006: Ground Penetrating Radar, Principles, Procedures and Applications. Mississauga.
- Boniger, U., Tronicke, J. 2010: On the Potential of Kinematic GPR Surveying Using a Self-Tracking Total Station: Evaluating System Crosstalk and Latency. Geoscience and Remote Sensing 48.
- Brezigar, A., Tomšič, B., Štern, J., Rašković, G. 1996: Georadar – visokoločljiva geofizikalna elektromagnetna naprava. Geologija 37–38.
- Conyers, B. L., Goodman, D. 1997: Ground – Penetrating Radar. An Introduction for Archaeologists. Altamira.
- Jol, H. 2009: Ground Penetrating Radar: Theory and Applications. Oxford.

- Komel, P., Pavlič, M. 2008: Uporaba georadarja v geotehniki, geologiji in gradbeništvu ob praktičnih primerih. Zbornik petega posvetovanja slovenskih geoteknikov. Nova Gorica.
- Leckebusch, J. 2003: Ground Penetrating Radar: A Modern Three-dimensional Prospection Method. *Archaeological Prospection* 10.
- Lehmann, F., Green, A. G. 1999: Semiautomated georadar data acquisition in three dimensions. *Geophysics* 64/3.
- Lopera, O., Milisavljevic, N. 2007: Prediction of the effects of soil and target properties on the AP landmine detection performance of ground-penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics* 63.
- Meats, C. 1996: An appraisal of the problems involved in threedimensional ground penetrating radar imaging of archaeological features. *Archaeometry* 38-2.
- Miller, T., Hendrickx, J., Borchers, B. 2004: Radar detection of buried landmines in field soils. *Vadose Zone Journal* 3.
- Mušič, B. 2010: Poročilo o geofizikalni raziskavi: Ljubljana – Vodnikov trg. Neobjavljeno poročilo, Gearh d. o. o., Maribor.
- Rakar, A., Šubic-Kovač, M., Mesner, A., Mlinar, J., Šarlah, N. 2010: Zaščita in ohranjanje vrednosti gospodarske javne infrastrukture. *Geodetski vestnik* 54-2.
- Rhebergen, J. B., Lensen H. A. R., van Wijk, J. M. H., Hendrickx, L., van Dam, Borchers, B. 2004: Prediction of soil effects on GPR signatures. SPIE digital library.
- Streich, R. 2007: Accurate 3-D vector-imaging of ground – penetrating radar data based on exact-field radiation patterns. Doktorska disertacija, ETH Zürich. Zürich
- Van der Kruk, J. 2001: Three-dimensional imaging of multi-component GPR data. Doktorska disertacija, Delft University of Technology. Delft.
- Yilmaz, O. 1987: Seismic Data Processing. Investigations in Geophysics 2. Tulsa.

IZDELAVA GIS ORODJA ZA PODPORO STROKOVNJAKOM ZA OHRANJANJE STAVBNE DEDIŠČINE

dr. Tina Žerjal

tina.zerjal@guest.arnes.si

dr. Nataša Kolega, Mojca Poklar

Harpha Sea, d. o. o. Koper

natasa@harphasea.si, mojcap@harphasea.si

UDK: 91:659.2:004

711.4(497.4Koper)

IZVLEČEK

Izdelava GIS orodja za podporo strokovnjakom za ohranjanje stavbne dediščine

Po končani izdelavi 3R modela sedanjega mestnega jedra Kopra, ki je temeljila na uporabi topografskih in lidarskih podatkov ter fotografskega materiala, smo izdelali 4R model oziroma historični »3R model starega mestnega jedra Kopra okoli leta 1800«. Izdelava 3R/4R virtualnih modelov je vedno bolj razširjena, še posebej pa so slednji uporabni pri ohranjanju stavbne dediščine, saj predstavljajo orodje, ki omogoča celovit dostop do potrebnih podatkov, njihovo urejanje in prikaz v 3R obliki. Prispevek predstavlja metodologijo izdelave geoinformacijskega sistema za urejanje in prikazovanje »3R modela starega mestnega jedra Kopra okoli leta 1800« ter možnosti za njegovo nadaljnjo uporabo.

KLJUČNE BESEDE

3R/4R model, GIS, CityGML, Koper, CityViewer

ABSTRACT

Production of GIS tools to support professionals in the conservation of architectural heritage

After finishing a 3D city model of the present historic town of Koper, which was based on the use of topographic and LIDAR data, as well as photographic material, the GIS team at Harpha sea d. o. o. Koper developed a 4D city model. The production of 3D/4D virtual models has become increasingly widespread. The latter are especially useful in preserving architectural heritage as they serve as a tool that enables full access to necessary information, their editing and display in 3D. The paper presents a methodology of the development of the »3D model of the old town of Koper around 1800« as well as prospects for its further use.

KEY WORDS

3D/4D model, GIS, CityGML, Koper, CityViewer

1 Uvod

V zadnjem času lahko opazimo, da potreba po 3R informacijah hitro narašča, saj veliko človeških dejavnosti, kot so na primer prostorsko načrtovanje, spremljanje stanja okolja, nacionalna varnost in varstvo pred naravnimi nesrečami, krajinsko planiranje, spremljanje prometa stremi k uveljavljanju tretje dimenzije. Pri tem imajo GIS-i pomembno vlogo, saj hranijo podatke o prostorskih pojavih in zagotavljajo sredstva za njihovo analizo. Naloge oziroma funkcije GIS-ov namreč temeljijo na zajemu podatkov, njihovem oblikovanju in analizi ter končni njihovi predstavitvi. Zato naj bi tudi trirazsežnostni (3R) GIS zagotavljal enako funkcionalnost kot dvorazsežnostni (2R) GIS. (Raper in Maguire 1992; Zlatanova, Rahman in Pilouk 2002)

V zadnjem času lahko zasledimo potrebo po 3R prikazu kulturne dediščine. 3R modeli stavb starih mestnih jeder so v Evropi že dokaj pogosta praksa pri prikazovanju stavbne kulturne dediščine. Največkrat so v virtualni resničnosti izdelani digitalni modeli današnjih arhitekturnih kulturnih spomenikov, toda mnogokrat se strokovnjaki digitalnih tehnologij in raziskovalci humanistike spoprimejo tudi s prikazovanjem preteklosti. Vizualna predstavitev ali rekonstrukcija preteklosti je namreč za uporabnike veliko bolj sprejemljiva in z lahkoto dojemljiva kakor opisna, poleg tega pa tudi veliko bolj učinkovita, saj človeka popolnoma odpelje v drugo časovno dimenzijo in mu predstavi preteklost tako, kakor da bi bil lahko v tistem trenutku sam tam.

Po opravljeni analizi potreb za izdelavo 3R modela starega mestnega jedra Kopra v različnih časovnih obdobjih smo ugotovili, da bi slednji služil široki paleti uporabnikov, predvsem pa strokovnjakom (arheologom, zgodovinarjem, strokovnjakom s področja kulturne dediščine), katerih delo temelji na ohranitvi stavbne in druge kulturne dediščine. Zato smo izdelali 4R model oziroma historični 3R model starega mestnega jedra Kopra. Cilj projekta je bila izdelava GIS orodja, ki bi omogočala vizualni 3R prikaz zgodovinske mestne podobe Kopra, predvsem njegovega otoškega značaja, poleg tega pa bi bila, na podlagi obstoječe baze podatkov, kjer bi bili zajeti vsi podatki o posameznih objektih, omogočena tudi vsebinska nadgradnja in namenska uporaba 3R modela Kopra.

2 Izdelava »3R modela starega mestnega jedra Kopra okoli leta 1800«

Osnovo za izdelavo »3R modela starega mestnega jedra Kopra okoli leta 1800« (v nadaljevanju 4R model Kopra) predstavlja 3R model sedanjega mestnega jedra Kopra. Glavni cilj je bil opisati in prikazati veličino obstoječe kulturne dediščine na drugačen, alternativni način, kot je na primer navidezna resničnost. Metodologija je slonela na izdelavi 3R geoinformacijskega sistema, s katerim bi bilo možno urejanje in prikaz sedanje podobe mesta Koper v tridimenzionalni obliki. Ker je njegov namen predvsem v prikazu in s tem spodbujanju in pospeševanju ozaveščenosti o sedanji kulturni dediščini mesta Koper, smo za izdelavo slednjega uporabili manj zahtevne 3R modele s podrobnimi teksturami, ki po Koutsoudisu in sodelavcih, zagotavljajo dovolj realistični prikaz (Koutsoudis, Arnaoutoglou in Chamzas 2007, 27). Z uporabo podatkov katastra stavb GURS-a (Kataster stavb 2010), ki so bili nato popravljeni glede na digitalne ortofoto posnetke (DOF 2009), so bili pripravljene tlorisi zgradb. Zgradba je bila definirana kot osnovni in najmanjši gradnik 3R modela. Več zgradb sestavlja stavbo, ki jo definira naslov s hišno številko. Iz tlorisov zgradb so nato bili programsko izdelani kubusi zgradb, katerih višine so bile določene na podlagi podatkov iz katastra stavb GURS-a. Večini kubusom so bile dodane fotografije fasad, na podlagi podatkov klasificiranih točk lidarskega snemanja pa jim je bil določen tip strehe ter natančnejša višina zgradbe. Detajlnejši modeli zgradb so bili izdelani na podlagi etažnih načrtov, kjer gre za digitalizacijo načrtov posameznih etaž, njihov dvig na višino posamezne etaže ter končno združitvijo vseh etaž posameznega modela.

3R model mestnega jedra Kopra je bil nadgrajen in dopolnjen z bazo podatkov o stavbni in kulturni dediščini mesta. Slednja je bila zasnovana na podlagi uporabniških zahtev, ugotovljenih v predhodno

izdelani študiji »Analiza potreb za izdelavo 4D modela Kopra – seznam uporabnikov, identifikacija potreb z ustreznimi primeri uporabe (use cases)« (Žerjal, Kolega in Žerjal 2010), pregledu primerljivih podatkovnih registrov stavbne in kulturne dediščine po Evropi in svetu, mednarodnih standardih nepremične kulturne dediščine in podobno ter dosedanjim delom s 3R modelom in prostorskimi podatki za Mestno občino Koper. Ker je večina uporabnikov izpostavila predvsem dostopnost do celovite zbirke podatkov o nepremični kulturni dediščini na enem mestu, je izdelava 4R modela Kopra temeljila na izdelavi geoinformacijskega sistema, ki združuje vse podatke v enotni podatkovni bazi ter podpira shranjevanje, urejanje in prikaz prostorskih in atributnih podatkov v 3R obliki. Vsebinski del, ki je zajemal pregled in pridobivanje ustreznih podatkov, vezanih na projekt 4R modela Kopra, je potekal vzporedno z oblikovanjem podatkovne baze modela.

3 Vsebinski del 4R modela Kopra

V sklopu vsebinskega dela izdelave 4R modela Kopra so bili najprej poiskani in georeferencirani stari zemljevidi Kopra ter druga relevantna literatura o arhitekturi mesta. Osnovo za izdelavo 4R modela je predstavljal franciscejski kataster iz leta 1819 in sicer zemljevid mesta Koper v merilu 1 : 1440, po katerem so bili povzeti tlorisi stavb, potek obzidja, ulic in trgov ter potek obale in pomolov. S pomočjo franciscejskega katastra so bili prirejeni tudi današnji lidarski podatki in tako ustvarjen digitalni model reliefa otoka. Višina stavb je bila določena na podlagi vpisov v elaborat franciscejskega katastra ter iz različnih drugih arhivskih virov, literature, razglednic, starih vedut in fotografij, kjer je bilo mogoče razbrati vsaj število nadstropij posamezne stavbe. Na podlagi tlorisov in višin so bili nato ustvarjeni kubusi stavb, ki so jim bile dodane fasade, prav tako pridobljene iz arhivskih virov, starih razglednic in fotografij. Stavbam, katerih fasad in višin ni bilo mogoče razbrati iz že naštetih virov, so bile v posameznih okoljih, ki smo jih izbrali za podrobnejši prikaz in izris, dodane tipske fasade. Vsaki stavbi so bili dodani tudi sledeči atributi:

- čas izgradnje/porušitve,
- višina,
- današnja ulica in hišna številka,
- ime (če obstaja),
- funkcija in
- stopnja verodostojnosti (glede na vir).

Podlage ulic, trgov in dvorišč so bile ugotovljene iz arhivskih virov, starih razglednic, fotografij in franciscejskega katastra. Prav franciscejski kataster (Franciscejski kataster za Primorsko 1819) predstavlja tudi rastrsko podlago modela. Poleg podlage je bilo ulicam in trgov dodano še njihovo takratno ime in ime četrti, v katero je ulica/trg spadal. Na osnovi znanstvene literature (Alisi 1932; Ferrari 1955; Cherini 1995; Kovač 2000; Prohinar 2003; Hover 2006), starih zemljevidov, tlorisov arheoloških izkopavanj in vedut (razglednice, fotografije) je bil nato ustvarjen potek propadajočega mestnega obzidja leta 1819. Viri, uporabljeni za podatke o posameznih stavbah, so bili prav tako navedeni v posebni preglednici, kar je podkrepilo verodostojnost in preverljivost izdelanega modela.

4 Zgradba geoinformacijskega sistema za urejanje in prikazovanje 4R modela Kopra

Vzporedno z vsebinskim delom je potekala izdelava geoinformacijskega sistema za urejanje in prikazovanje 4R modela Kopra. Slednji je sestavljen iz podatkovne baze, ki predstavlja temelj celotnega sistema in GIS orodij za urejanje in prikazovanje podatkov v 3R obliki.

Za shranjevanje GIS podatkov 4R modela Kopra je bila uporabljena *PostgreSQL* podatkovna baza, pri kateri je delo z georeferenciranimi podatki omogočeno z dodatkom *PostGIS* na podatkovni bazi *PostgreSQL*. Administratorski dostop do baze omogoča sistemsko orodje *phpPgAdmin*-a ali *PgAdmin3*. S tema orodjema lahko administrator neposredno posega v samo zgradbo baze, tabele, sheme in attribute. Struktura baze podatkov je bila, predvsem zaradi velike količine in raznolikosti podatkov, izdelana na osnovi standarda *CityGML*, ki predstavlja informacijski model za predstavitev 3R mestnih objektov. *CityGML* je zasnovan kot odprti podatkovni model in temelji na XML formatu za shranjevanje in izmenjavo virtualnih 3R modelov mest. Pri tem hierarhično opredeljuje razrede in odnose za najpogostejše topografske objekte v mestih glede na njihove geometrijske, topološke, semantične lastnosti in videz. *City*, torej mesto, je široko opredeljen pojem, ki ne zajema samo objektov, temveč tudi višino, vegetacijo, vodna telesa, »opremo mesta« in še več. Lahko se uporablja za velike površine ali majhna območja in omogoča predstavljanje terena in 3R objektov v različnih podrobnostih *LOD-a* (*level of detail*) hkrati (medmrežje 1)

Skladno s standardom *CityGML* je bila struktura podatkovne baze za lažje delo z bazo in vodnje podatkov razdeljena v posamezne sheme glede na njihovo vsebino. Sheme obsegajo shemo *public*, ki predstavlja osnovno shemo, v kateri so splošni podatki o zgradbah in 3R ter 4R modelu, shemo »kulturna dediščina«, ki vsebuje podatke, ki se nanašajo na kulturno dediščino, shemo »arhitektura« s podatki o arhitekturi zgradb, shemo »arheologija«, ki vsebuje podatke o arheologiji, kjer je območja izkopavanja in drugih arheoloških raziskav možno dodajati kot nove prostorske enote v modelu, shemo »zgodovina in sociologija« ter shemo »prostor« s podatki o upravljanju s prostorom, prostorskih aktih itd. Vsaka shema vsebuje preglednice z vsemi njihovimi atributi, ki se medsebojno dopolnjujejo.

Kljub vsem možnostim, ki jih nudi *CityGML* pa se pojavijo pomanjkljivosti, ko želimo nek objekt opisati z atributi, ki jih *CityGML* ne predvideva v naprej. Če želimo model nadgraditi z dodatnimi arheološkimi, arhitekturnimi atributi, le-teh ni mogoče opisati prek osnovne sheme. Zaradi tega v *CityGML* obstajajo posamezni moduli (*Building*, *Appearance*, *CityObject Group* in *Generics*), ki omogočajo dodatne nadgraditve. Zgradbe v modelu Kopra so zasnovane na podlagi modula *Building*, vendar nam ta modul ne omogoča dodatnih atributov, s katerimi želimo podrobneje opisati zgradbe v času ali z dodatnimi arhitekturnimi atributi. Zato smo v takšnih primerih uporabili generične attribute, ki opišejo zgradbo z vsemi potrebnimi lastnostmi. Posebni modul *Appearance* se v naši podatkovni bazi ne pojavi tako očitno kot modul *Building*, saj so ugotovitve pokazale, da lahko vizualno podobo mesta v bazi shranimo tako, da prihnemo slike že na fasade, ceste ipd. Tako je enostavno pridobiti enolični identifikator objekta mesta, ki mu pripada slika in na ta način ustvariti *Appearance*. Modul *CityObjectGroup* se lahko uporablja pri združevanju zgradb v stavbe glede na *sid* (enolični identifikator stavbe), ali pri kulturni dediščini, ko na primer želimo prikazati, v katero vejo kulturne dediščine spadajo določene stavbe.

Za urejanje in ogled prostorskih in atributnih podatkov v 3R obliki so bila razvita različna GIS orodja. **Pregledovanje 3R modelov in njihovih atributov** je bilo zamišljeno ločeno v dveh različnih programih, ki sta med seboj povezana in se ju lahko uporablja istočasno. 3R modele si namreč ni možno ogledovati neposredno v podatkovni bazi, saj je za to potreben poseben izvoz modelov iz baze v format *.ive/.osgb*. Šele po izvozu modelov je nato možno ogledovanje v pregledovalniku 3R modelov, ki omogoča ogledovanje iz različnih perspektiv, strani in oddaljenosti. V kombinaciji s pregledovalnikom 3R modelov deluje še pregledovalnik atributnih podatkov, ki omogoča ogledovanje in dodajanje atributov prek 3R modela neposredno v/iz baze. Za **urejanje florisov zgradb** je bil uporabljen program *Quantum Gis*, ki omogoča neposredno povezavo na bazo podatkov, zahtevnejše urejanje 3R modelov pa se je izvajalo v programu za detajlnejše urejanje slednjih, kjer zgradbam, ki se prikažejo v prikazovalniku, lahko spreminjamo višino, tip strehe, barvo ter nanjo dodajamo fotografije fasad. Po končanem urejanju je bil celotni 4R model mesta Koper izvožen v obliko za pregledovanje v pregledovalniku 3R modelov, in sicer s pomočjo **programa za izvoz modelov**. V prihodnosti bi bilo možno narediti tudi direktno



Slika 1: Prikaz celotnega »3R modela starega mestnega jedra Kopra okoli leta 1800«.



Slika 2: Podrobnejša izseka dveh pomembnejših predelov mesta Koper iz »3R modela starega mestnega jedra Kopra okoli leta 1800«: Titov trg in Prešernov trg – vrata Muda.

povezavo med pregledovalnikom 3R modelov in bazo podatkov, da izdelava izvoza za pregledovanje ne bi bila več potrebna.

4R model Kopra je možno pregledovati v GIS prikazovalniku *CityViewer*. Prikazovalnik omogoča ogled celotnega 3R modela (slika 1) z možnim ogledovanjem iz različnih perspektiv, strani in oddaljenosti, s tem pa je možno tudi »sprehajanje« po ulicah, med hišami, ali »prelet« mesta. Slika 2 prikazuje dva pomembnejša predela mesta Koper iz »3R modela starega mestnega jedra Kopra okoli leta 1800«.

V pregledovalniku *CityViewer* je možna tudi izbira posameznih objektov ter pregledovanje njihovih atributov (slika 3). Pri izbiri zgradbe se nam odpre atributna tabela, v kateri so zapisani podatki o izbrani zgradbi, in sicer ID zgradbe (enolični identifikator zgradbe), ulica, na kateri stoji zgradba, pripadajoča hišna številka zgradbe, njena višina, datum nastanka in rušitve zgradbe, njena funkcija in ime, v kolikor je le-to poznano. Poleg osnovnih atributov sta vnešena tudi vir podatkov in verodostojnost. S klikom na vrstico Tlaki se odpre druga atributna tabela (slika 4), v kateri izvemo nekdanje ime ulice in četrt, ki ji je ulica pripadala. Izvemo tudi za tip podlage ulice ali trga.

3D	Opis objekta																					
Opis objekta	<p>Zgradbe</p> <table border="1"> <tr> <td>ID</td> <td>12127022</td> </tr> <tr> <td>Ulica</td> <td>ULICA OSVOBODILNE FRONTI</td> </tr> <tr> <td>Hiša št.</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Višina</td> <td>6,8 m</td> </tr> <tr> <td>Datum nastanka</td> <td>novi vek (16. - 19. stoletje)</td> </tr> <tr> <td>Datum ručitve</td> <td>/</td> </tr> <tr> <td>Funkcija</td> <td>STANOVARSKI PROSTOR</td> </tr> <tr> <td>Ime</td> <td>/</td> </tr> </table> <p>Viri</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Vir storitve:</th> <th>Verodostojnost:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GURS-KS, DOF-Idar 2007, Francisc. kat.</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tlaki</p> <p>Opis funkcije: Opis objekta prikazuje.....</p> <p>© 2010 Hergla s.p.a.s.</p>		ID	12127022	Ulica	ULICA OSVOBODILNE FRONTI	Hiša št.	14	Višina	6,8 m	Datum nastanka	novi vek (16. - 19. stoletje)	Datum ručitve	/	Funkcija	STANOVARSKI PROSTOR	Ime	/	Vir storitve:	Verodostojnost:	GURS-KS, DOF-Idar 2007, Francisc. kat.	100%
ID	12127022																					
Ulica	ULICA OSVOBODILNE FRONTI																					
Hiša št.	14																					
Višina	6,8 m																					
Datum nastanka	novi vek (16. - 19. stoletje)																					
Datum ručitve	/																					
Funkcija	STANOVARSKI PROSTOR																					
Ime	/																					
Vir storitve:	Verodostojnost:																					
GURS-KS, DOF-Idar 2007, Francisc. kat.	100%																					

Slika 3: Prikaz atributov zgradbe.

3D	Opis objekta							
Opis objekta	<p>Zgradbe</p> <p>Tlaki</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Iza</th> <th>Vrt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Izvo ulice (1604)</td> <td>Via dopi cri grand</td> </tr> <tr> <td>Izvo ceste (2819)</td> <td>Pudela</td> </tr> </tbody> </table> <p>© 2010 Hergla s.p.a.s.</p>		Iza	Vrt	Izvo ulice (1604)	Via dopi cri grand	Izvo ceste (2819)	Pudela
Iza	Vrt							
Izvo ulice (1604)	Via dopi cri grand							
Izvo ceste (2819)	Pudela							

Slika 4: Prikaz atributne tabele »Tlaki«.

5 Sklep

Izdelava 3R/4R modelov, ki so podprti s celovitim geoinformacijskim sistemom, je vedno bolj razširjena praksa, saj zaradi lažje dojemljivega in bolj preglednega prikaza prostora njihova uporabnost sega vse od znanstvenih do poljudnih področij. Zaradi celovite baze podatkov, kjer so na enem mestu shranjeni vsi relevantni podatki o določenem objektu, slednji predstavljajo tudi pomembno orodje pri ohranjanju stavbne, kulturne dediščine. Iz zgoj znanstvenega vidika so 4R virtualni modeli uporabni za **raziskovanje zgodovinskega razvoja arhitekture in urbanizma**, skratka preteklega življenja, ki je bilo vezano na določeno krajino in arhitekturo. Digitalna 3R vizualizacija raziskovalcem olajša pogled

na arhitekturo in njeno razumevanje bodisi na ravni posameznega spomenika ali delca znotraj ustroja mesta. Poleg tega se z izdelavo natančnih virtualnih 3R modelov današnjih stavb dokumentira stanje spomenikov, kar omogoča njihovo preučevanje in ohranjanje. 4R virtualni modeli so še posebej uporabni za **rekonstrukcijo stavb**, ki so danes že porušene ali popolnoma spremenjene, njihove informacije pa lahko najdemo le v arheoloških ostankih ali drugih zgodovinskih virih. Poleg znanstvenega področja pa so 4R virtualni modeli uporabni predvsem za **ozaveščanje širše javnosti o kulturni dediščini** – o zgodovini, arhitekturi, o življenju ljudi v preteklosti. To je način, kako ljudem na prijazen način prikazati kulturno dediščino in znanstvene dosežke humanističnih in družboslovnih ved (etnološke, zgodovinske, arheološke in umetnostnozgodovinske stroke, raziskav zgodovine in razvoja arhitekture ter urbanizma). Uporabljajo se tako v **pedagoški dejavnosti** za domačo in tujo javnost ter v **kulturnemu turizmu**, ki je ena vodilnih gospodarskih panog v Evropi.

V zadnjem času je veliko 3R/4R modelov dosegljivih tudi na spletu. Mnogokrat gre za okrnjeno obliko bolj zahtevnih modelov arheoloških ali arhitekturnih rekonstrukcij. Kljub temu velja opomniti, da so mnogi 3R modeli arhitekture, ki so dosegljivi na spletu, izdelali grafični zanesenjaki, saj so danes orodja za 3R modeliranje dosegljiva skoraj vsakomur.

3R/4R modeli pa niso le orodje za preučevanje preteklosti, temveč lahko služijo tudi za načrtovanje prihodnosti. Uporabni so namreč tudi v gospodarstvu za turistično promocijo, kulturni turizem in regionalni razvojer za trajnostno strategijo širše regije kot tudi za urbanistične potrebe lokalne skupnosti. Le na temeljih preteklosti se lahko uspešno gradi prihodnost.

6 Viri in literatura

- Alisi, A. 1932: Il duomo di Capodistria. Rim.
- Boškovič, G. 1997: Oblikovanje vzorca zelenih in prostih površin v strnjenih stavbnih karejih starega mestnega jedra Kopra. Diplomaska naloga. Ljubljana.
- Bugarič, B. 2001: Univerzitetna knjižnica v kompleksu servitskega samostana v Kopru. Diplomaska naloga. Ljubljana.
- Bugarič, B. 2004: Koper: možnosti in potrebe za novo univerzitetno središče. Magistrsko delo. Ljubljana.
- Cherini, A. 1995: I Servi di Maria a Capodistria: da convento a caserma e a ospedale. Trst.
- Digitalni model višin 12,5. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2005
- Digitalni ortofoto posnetek. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2009
- Ereš, Z. 1997: Rekonstrukcija degradiranega območja v Bošadrugi v Kopru. Diplomaska naloga. Ljubljana.
- Ferrari, M. 1955: Case gotico veneziane in Istria. Trst.
- Franciscejski kataster za Primorsko, k. o. Koper, list 78A. 1819. Državni arhiv v Trstu (DAT). Trst.
- Hover, S. A. 2006: Il restauro dell'Armeria e della Foresteria di Capodistria destinate all'Università del Litorale. Saggi e memorie di storia dell'arte 30. Benetke.
- Kataster stavb. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2010
- Koutsoudis, A., Arnaoutoglou, F., Chamzas, C. 2007: On 3D reconstruction of the old city of Xanthi. A minimum budget approach to virtual touring based on photogrammetry. Journal of Cultural Heritage 8. Mayenne.
- Kovač, M. 2000: Koper, Čevljarska ulica 1, hiša Galli. Pokrajinski muzej Koper. Koper.
- Likar, D. 2009: Arhitektura in razvoj obeh koprskih obzidij. Annales, Series historia et sociologia 19-2. Koper.
- Likar, D., Ostan, A. S., Pleterski, A., Rožič, A., Štular, B. 2008: Sporočila prostora. Arhe: arheologija – arhitektura. Ljubljana.
- Medmrežje 1: <http://www.citygml.org/index.php?id=1523>.
- Prohinar, V. 2003: Arhitektura koprskih samostanov: spomeniškovarstvena problematika prenove. Koper.

- Raper, J., Maguire, D. J. 1992: Design models and functionality in GIS. *Computer & Geosciences* 18-4.
- Zlatanova, S., Rahman, A. A., Pilouk, M. 2002: Trends in 3D GIS development. Medmrežje: http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/SZ_AR_MP_JGE02.pdf (5. 3. 2012)
- Žerjal, A., Kolega, N., Žerjal, T. 2010: Analiza potreb za izdelavo 4D modela Kopa – seznam uporabnikov, identifikacija potreb z ustreznimi primeri uporabe (use cases). Poročilo za Mestno občino Koper. Koper.

UPORABA FOTOGRAMETRIČNEGA IN LIDARSKEGA DIGITALNEGA MODELA RELIEFA ZA SAMODEJNI ZAJEM STAVB

dr. Dejan Grigillo

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani
dejan.grigillo@fgg.uni-lj.si

Urša Kanjir

Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti
ursa.kanjir@zrc-sazu.si

UDK: 528.7:551.43

IZVLEČEK

Uporaba fotogrametričnega in lidarskega digitalnega modela reliefa za samodejni zajem stavb

V prispevku predstavljamo rezultate samodejnega zajema stavb, ki temelji na obravnavi letalskih posnetkov in lidarskih podatkov. Začetno masko stavb smo izdelali iz normiranega digitalnega modela površja (nDMP), iz katerega smo izločili rastje. nDMP izračunamo kot razliko med digitalnim modelom površja (DMP) in digitalnim modelom reliefa (DMR). Za izdelavo DMR-ja smo uporabili različni samodejni metodi, fotogrametrično in lidarsko metodo. Za izdelavo maske rastja smo uporabili objektno usmerjeno analizo podatkov. Tako narejena maska rastja je od uveljavljenega izračuna normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI) boljša predvsem v osenčenih območjih. Končno masko stavb smo izdelali z uporabo niza morfoloških operacij in stavbe vektorizirali s Houghovo transformacijo.

KLJUČNE BESEDE

digitalni model reliefa, samodejni zajem stavb, objektno usmerjena analiza, NDVI

ABSTRACT

The use of photogrammetric and lidar digital terrain model for automatic building extraction

This paper presents the results of automatic building extraction from aerial images and lidar data. Initial building mask was derived from the normalised digital surface model (nDSM) from which the vegetation was excluded. nDSM is calculated as the difference between the digital surface model (DSM) and digital terrain model (DTM). For the DTM elaboration two various automated methods were used, photogrammetric and lidar method. Vegetation mask was obtained by object based image analysis. This provided better results in shaded areas than calculating the normalised differential vegetation index (NDVI). The final building mask was produced employing several morphological operations and buildings were vectorized using Hough transform.

KEY WORDS

digital terrain model, automatic building extraction, object based image analysis, NDVI

1 Uvod

Samodejno prepoznavanje urbanih objektov iz daljinsko zaznanih podatkov je v zadnjih desetletjih pomembna raziskovalna tema strokovnjakov s področja daljinskega zaznavanja, fotogrametrije, računalniškega vida in obdelave podob. V prispevku obravnavamo samodejni zajem stavb iz letalskih slikovnih in lidarskih podatkov. Številne metode za zajem stavb uporabljajo večspektralne posnetke in digitalne modele višin kot vhodni podatek. V tovrstnih metodah lahko oba podatkovna vira uporabimo enakovredno, ali pa predstavljajo osnovni vir za obdelavo višinski podatki, medtem ko večspektralne posnetke uporabimo za odstranjevanje rastja (Awrangjeb, Ravanbakhsh in Fraser 2010, 46). V drugem primeru iz višinskih podatkov večinoma izdelamo normirani digitalni model površja (nDMP). Začetno masko stavb naredimo z uporabo praga na nDMP-ju (Koc San in Turker 2007) in z odstranitvijo rastja z masko rastja, izdelano iz večspektralnih podob. nDMP izračunamo kot razliko digitalnega modela površja (DMP) in digitalnega modela reliefa (DMR). V zadnjem času predstavljajo najbolj zanesljivi vir za izdelavo DMP-ja in DMR-ja lidarski podatki (Höfle s sodelavci 2009). DMP lahko izdelamo tudi z metodami slikovnega ujemanja iz letalskih ali satelitskih posnetkov (Zhang in Fraser 2009). Poleg neposredne izdelave DMR-ja iz lidarskih podatkov ali slikovnih posnetkov, lahko DMR dobimo tudi z odstranitvijo visokih objektov iz DMP-ja (Pfeifer in Böhm 2008).

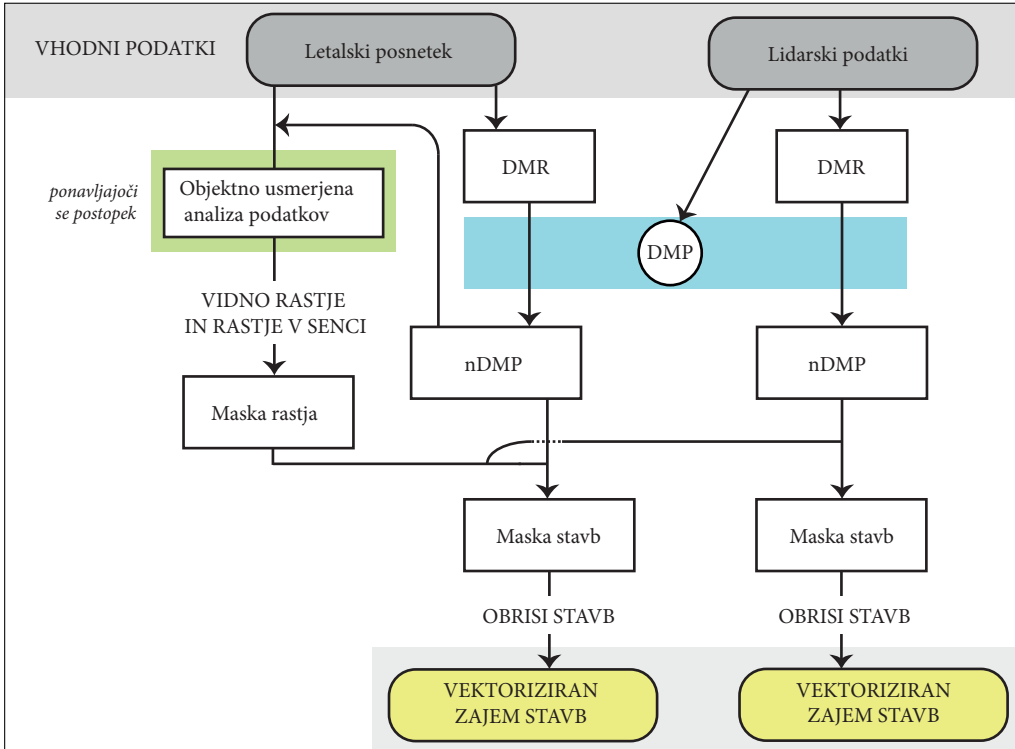
Pogost način izračuna maske rastja je uporaba normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI) iz rdečega in bližnje infrardečega kanala večspektralnega posnetka. Druga možnost je izdelava maske z metodo objektno usmerjene analize podatkov. Ta metoda je bila razvita za premostitev vrzeli med vse večjo količino podrobnih letalskih in satelitskih posnetkov ter problemov kompleksnih funkcij za razpoznavanje objektov iz njih (Blaschke 2010).

2 Metoda

V raziskavi smo uporabili letalske posnetke, lidarski oblak točk in DMP. Za izdelavo nDMP smo DMR izdelali na dva različna načina, s fotogrametrično metodo iz letalskih posnetkov in z obdelavo lidarskih podatkov. Masko rastja smo izdelali z metodo objektno usmerjene analize podatkov, s katero smo dobili vizualno boljše rezultate kot, če bi uporabili zgolj NDVI. Največje razlike so se pojavile predvsem v senčnih območjih. Podrobno opredeljeni parametri segmentacije so bili določeni za pridobitev segmentov, ki so bili naknadno razvrščeni v najbolj primerne objektno razrede (rastje, senca) z izbrano vrsto pravil. Postopek smo ponovili tako za vidno rastje kot za rastje v sencah. Postopek izdelave sloja stavb vključuje izdelavo večih mask, ki so dobljene z uporabo praga sloja nDMP, odstranitvi rastja na ortopodobah in večih morfoloških operacij za izgradnjo obrisov stavb. Končno vektorizacijo stavb smo izvedli s Houghovo transformacijo. Slika 1 prikazuje shemo samodejnega zajema stavb.

3 Študijsko območje in podatki

V marcu 2011 je Tehnična Komisija III organizacije ISPRS, WG III/4, udeležencem preizkusa »ISPRS Test Project on Urban Classification and 3D Building Reconstruction« zagotovila testne podatke. Namen preizkusa je bilo ovrednotenje tehnik za samodejni zajem različnih urbanih objektov. Iste podatke smo uporabili tudi za raziskavo, ki jo opisujemo v nadaljevanju. Barvni infrardeči letalski posnetki (zelen, rdeč in bližnji infrardeč kanal) imajo prostorsko ločljivost 8 cm in radiometrično ločljivost 11 bitov (Cramer 2010). Posnetki imajo znane orientacijske parametre. Povprečna gostota lidarskega oblaka točk za posamezni pas snemanja je 4 točke na m² (Haala s sodelavci 2010). DMP je zapisan v obliki pravilne celične mreže in ima prostorsko ločljivostjo 25 cm. Izdelan je bil iz podatkov laserskega skeniranja. Vsi podatki so bili zajeti poleti 2008 na območju mesta Vaihingen v Nemčiji. Za oceno samodejnih postopkov je bilo predpisa-



Slika 1: Shema samodejnega zajema stavb.

nih več manjših preizkusnih območij. Opisano raziskavo smo izvedli na območju večstanovanjskih visokih objektov obkroženih z drevesi (območje A) in stanovanjskem območju z zasebnimi hišami (območje B).

4 Predobdelava

Za obe preizkusni območji smo izdelali DMR s prostorsko ločljivostjo 25 cm. DMR smo izdelali na dva načina: s samodejnimi fotogrametričnimi metodami iz letalskih posnetkov in s samodejnimi postopki obdelave oblaka lidarskih točk. Fotogrametrični DMR s prostorsko ločljivostjo 1 m smo naredili v programu za digitalno fotogrametrijo *SOCET SET*. Njegov programski modul *NGATE* omogoča samodejno izdelavo DMR-ja. Pri tem vključuje metode slikovnega ujemanja in različne morfološke operacije za odstranjevanje objektov, ki ne pripadajo reliefu. V nadaljevanju smo fotogrametrični DMR interpolirali na prostorsko ločljivost 25 cm. Lidarski DMR smo izdelali v odprtokodnem programu *LasTOOLS*, ki omogoča samodejno klasifikacijo oblaka točk na talne in netalne točke. Iz letalskih posnetkov in DMR-ja smo izdelali ortofote s prostorsko ločljivostjo 25 cm.

5 Izdelava maske stavb in vektorizacija stavb

Fotogrametrični in lidarski nDMP smo izračunali z odštevanjem danega DMP-ja in ustreznega DMR-ja. Na njem so vključeni le objekti, ki segajo nad zemeljsko površje. Iz nDMP-ja izdelamo masko

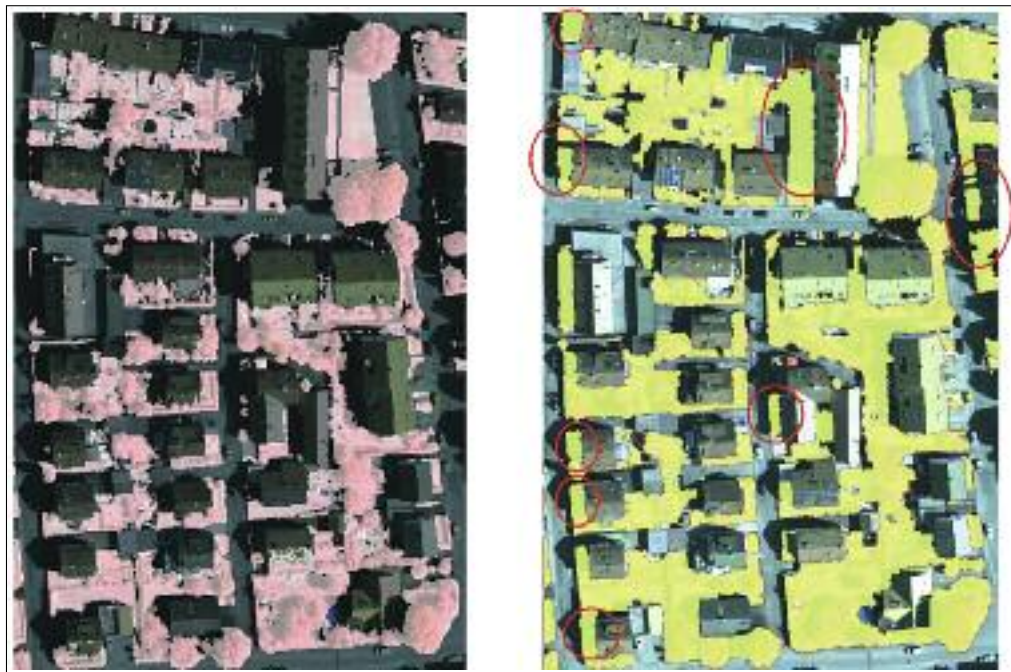
visokih objektov, ki vključuje le območja, za katera obstaja verjetnost, da so stavbe. Pri izdelavi maske visokih objektov v nDMP-ju smo uporabili prag 1,5 m. Maska visokih objektov, izdelana iz nDMP-ja, še vedno vsebuje rastje, ki sega vsaj 1,5 m nad površino tal (grmovje in drevesa). Rastje smo iz maske visokih objektov v nDMP-ju odstranili z masko rastja. Podroben opis izdelave končne maske stavb in obrisov stavb, ki smo jih uporabili za vektorizacijo stavb, podajajo Grigillo, Kosmatin Fras in Petrovič (2011, 18–21). Tudi vektorizacijo obrisov stavb s Houghovo transformacijo podrobneje opisujejo Grigillo, Kosmatin Fras in Petrovič (2012, 5162–5163). V nadaljevanju namenjamo več pozornosti izdelavi maske rastja.

6 Samodejno pridobivanje maske rastja

Masko rastja je mogoče preprosto izdelati z uporabo praga NDVI-ja. NDVI predstavlja razmerje med razliko in vsoto bližnjega infrardečega (NIR) in rdečega (R) kanala večspektralne podobe (v našem primeru smo ga izračunali iz ortofotov) in je eden najbolj razširjenih indeksov za opazovanje vegetacije:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R}$$

Z vizualno interpretacijo maske rastja, izdelane iz NDVI-ja, smo ugotovili, da veliko rastja, ki je na podobah v senci višjih urbanih objektov, ni bilo pravilno zaznanih. Za izdelavo maske rastja smo zato uporabili metodo objektno klasifikacije, kjer smo lahko zaznali tudi rastje, ki je v sencah. Objekt-



Slika 2: Levo je v roza barvi prikazana maska rastja, izdelana iz NDVI-ja. Desno je v zeleni barvi prikazana maska rastja, izdelana z objektno klasifikacijo. Rdeče elipse označujejo rastje v sencih, ki ga z NDVI-jem nismo učinkovito zaznali.

no usmerjena analiza podob je bila za pridobivanje urbanega rastja iterativno izvedena na ortofotih s tremi spektralnimi kanali (zelen, R in NIR) in dodanim nDMP-jem kot četrtem podatkovnim slojem. S tako sestavljenimi podatki smo dobili najboljše rezultate za iskanje in razmejitev dreves in drugih zelenih površin. Testno območje vsebuje več drevesnih vrst z različnimi razdaljami med drevesi in različno velikostjo drevesnih krošenj ter ostalih okoliških elementov, zato je določevanje zelenih urbanih objektov velik izziv. Slika 2 na primeru območja B prikazuje boljšo zaznavo rastja v sencah z objektno klasifikacijo v primerjavi z masko rastja, pridobljeno iz NDVI-ja.

Masko rastja smo izdelali s programsko opremo *ENVI EX*. Njegov programski modul *Feature Extraction* ima vgrajen objektno usmerjeni pristop, v katerem pridobimo rezultate v dveh korakih. V prvem koraku na podlagi spektralnih podpisov izračunamo segmente (segmentacija). V drugem koraku se segmenti analizirajo in razvrstijo v razrede, ki jim po lastnostih najbolj pripadajo (klasifikacija). Segmentacija je najzahtevnejša faza objektivne analize, pri kateri gre za razmejevanje vsebine posnetka v homogene segmente z združevanjem sosednjih pikslov s podobnimi atributi (svetlost, tekstura, barva) na podlagi več meril homogenosti (Veljanovski, Kanjir in Oštir 2011). Segmentacija je še posebej problematična na območjih z nizkim kontrastom ali kadar različen prikaz ne pomeni drugačnega pomena. V tem primeru so rezultati prikazani kot napačno razmejeni objekti na podobi (Kanjir s sodelavci 2010). Po segmentaciji se segmentom pripišejo različni prostorski, spektralni, geometrični in teksturni kazalniki. Po določitvi segmentacijskih parametrov smo segmente razvrstili s postopkom določanja pravil glede na ustrezne lastnosti segmenta. Tekstura, oblika in vsebinske značilnosti so ključnega pomena za prepoznavanje dreves v urbanih območjih (Ardila s sodelavci 2012). Zaradi številnih dejavnikov, ki so omejevali popolno zaznavanje rastja, smo masko rastja pridobili z naslednjim postopkom:

- 1. klasifikacija vidnega rastja in senc,
- 2. izdelava maske senc,
- 3. zaznava rastja pod sencami,
- 4. združitev vidnega rastja in rastja pod sencami.

Objekte vidnega (neosenčenega) rastja smo izdelali z upoštevanjem vrednosti NIR-a in R kanala, saj ima rastje visoko stopnjo NDVI-ja. Vzporedno z vidnim rastjem smo določili še razred »sence« in tako izločili senčne površine na posnetku. Znotraj teh površin je rastje, ki pa se od ostale rabe tal ne ločuje dobro zaradi majhnih spektralnih kontrastov v senci. Nabor pravil, ki smo jih uporabili v postopku določanja posameznega razreda, je naveden v preglednici 1.

Preglednica 1: Uporabljena pravila za določevanje razredov rastja.

razred	kazalnik	izbrane vrednosti glede na razpon kazalnika
vidno rastje	NDVI	> 0,15
sence	nDSM	< 2,5
	vrednost R kanala	< 800
	površina	> 10
	NDVI	< 0,15
rastje pod sencami	vrednost R kanala	< 725
	vrednost Z kanala	> 260
	NDVI	> 0
	površina	> 1,5

V naslednjem koraku smo območja senc maskirali in obdelali po istem postopku kot pri vidnem rastju. Sence so velik problem v daljinskem zaznavanju in simbolizirajo dejavnik, ki bistveno vpliva na končne rezultate. V urbanih območjih so največje površine senc ob visokih objektih (visoke zgradbe

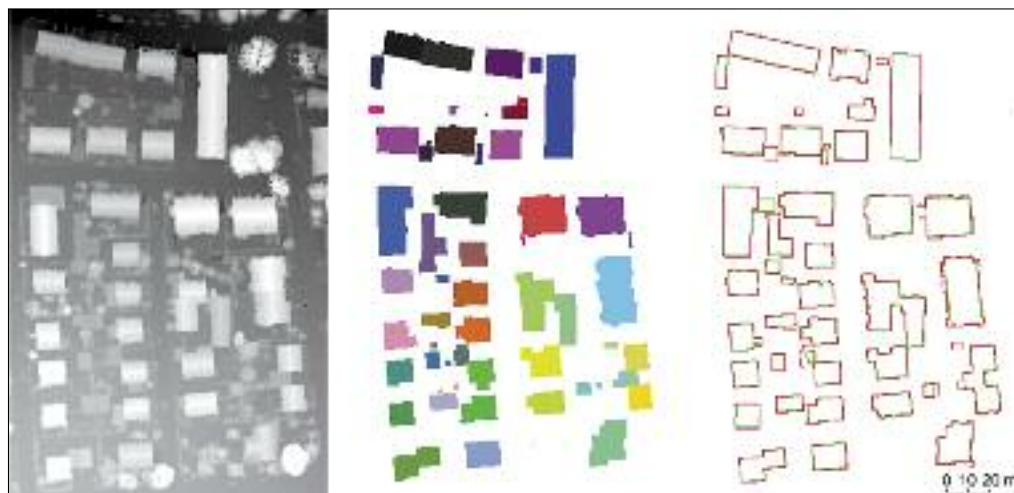
in visoko rastje) in nastanejo zaradi »neugodnega« kота sončnih žarkov ob snemanju. Raba tal v senci ima nizko spektralno ločljivost in jo je zato zapleteno razlikovati. Po analizah je bilo ugotovljeno, da ima rastje v senci še vedno višji NDVI kot druga raba tal. Objekti, ki pripadajo temu razredu, imajo specifične geometrijske in spektralne lastnosti. Končna maska rastja je nastala z združitvijo poligonov vidnega rastja in rastja v sencah.

7 Sklep

Rezultate samodejnega zajema stavb je ovrednotil organizator preizkusa na podlagi referenčne podobe stavb. Slednja je bila izdelana ročno s fotogrametričnim zajemom. Rezultati opisujejo popolnost, pravilnost in kakovost samodejnega zajema stavb tako na pikselnem nivoju kot na nivoju objektov (stavb). Podroben opis metode za ovrednotenje rezultatov je podan v (Rutzinger, Rottensteiner in Pfeifer 2009, 11–20). Slika 3 prikazuje DMP, referenčno podobo stavb in vektorizirane stavbe za območje B.

Preglednica 2 podaja ovrednotenje samodejnega zajema stavb za obe obravnavani območji. Površinska metoda ovrednotenja je narejena na podlagi pikselske primerjave rezultatov zajema stavb in referenčne podobe. Objektna metoda primerja med seboj posamezne stavbe in obravnava stavbo kot pravilno zajeto, če se določen odstotek njene površine ujema s površino iste stavbe na referenčni podobi stavb. Popolnost podaja odstotek objektov referenčne podobe, ki jih je samodejni postopek dejansko odkril. Pravilnost opisuje prileganje samodejno zaznanih stavb z referenčnimi stavbami in opozarja na napačno zajete stavbe. Kakovost rezultatov upošteva tako popolnost kot pravilnost samodejnega zajema.

Rezultati površinske metode ovrednotenja opozarjajo na manjše nepravilnosti, ki so se pojavile v postopku samodejnega zajema stavb (radialni premik visokih objektov na ortofotu, uporabljenem za izdelavo maske rastja, napake v postopku vektorizacije stavb). Iz popolnosti objektne metode ovrednotenja lahko razberemo, da s samodejnim postopkom nismo zajeli nobenega objekta, ki dejansko ne bi predstavljal stavbe. Slabša pravilnost opozarja na nekatere manjše stavbe, ki jih s samodejnim postopkom nismo prepoznali oziroma smo jih izgubili med postopkom morfološke obdelave maske stavbe.



Slika 3: Levo je prikazan DMP. Desno so v zeleni barvi prikazane stavbe, vektorizirane na podlagi fotogrametričnega nDMP-ja, in v rdeči barvi stavbe, vektorizirane na podlagi lidarskega nDMP-ja. V sredini je prikazana referenčna podoba stavb za ovrednotenje rezultatov.

Preglednica 2: Ovrednotenje rezultatov samodejnega zajema stavb.

metoda ovrednotenja		območje A		območje B	
		fotogrametrični DMR	lidarski DMR	fotogrametrični DMR	lidarski DMR
površinska	popolnost	93,8	95,1	89,7	94,4
	pravilnost	95,4	94,3	97,0	95,4
	kakovost	89,7	89,9	87,3	90,3
objektna	popolnost	85,7	85,7	76,8	82,1
	pravilnost	100,0	100,0	100,0	100,0
	kakovost	85,7	85,7	76,8	82,1

Na območju A, kjer so večstanovanjski visoki objekti, ni bistvenih odstopanj med popolnostjo, pravilnostjo in kakovostjo samodejnega zajema stavb, ne glede na to, ali smo uporabili fotogrametrični ali lidarski DMR. Lahko ocenimo, da je samodejni postopek izdelave DMR-ja v obeh primerih uspešno izločil velike stavbe. Večje razlike so opazne na območju B, pozidanem z zasebnimi hišami. Samodejno izdelani DMR iz letalskih posnetkov s fotogrametričnimi metodami vsebuje nekatere napake, ki so posledica nepravilnega slikovnega ujemanja in neučinkovitega morfološkega filtriranja visokih objektov. Posledično iz izdelanega nDMP-ja nismo odkrili nekaterih nižjih stavb.

Zahvala: Podatke mesta Vaihingen je priskrbelo Nemško združenje za fotogrametrijo, daljinsko zaznavanje in geoinformatiko DGPF, (Cramer 2010, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/dgpf/DKEP-Allg.html>).

8 Viri in literatura

- Ardila, J. P., Bijker, W., Tolpekin, V., A., Stein, A. 2012: Context-sensitive extraction of tree crown objects in urban areas using VHR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 15.
- Awrangjeb, M., Ravanbakhsh, M., Fraser, C. S., 2010: Automatic building detection using LIDAR data and multispectral imagery. *Digital Image Computing: Techniques and Applications*. Sydney.
- Blaschke, T. 2010: Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65.
- Cramer, M. 2010: Evaluierung digitaler photogrammetrischer luftbilkamerasysteme. Medmrežje: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/dgpf/DKEP-Allg.html> (26. 3. 2012).
- Grigillo, D., Kosmatin Fras, M., Petrovič, D. 2011: Samodejen zajem in iskanje sprememb v topografskem sloju stavb iz digitalnega modela površja in multispektralnega ortofota. *Geodetski vestnik* 55-1. Ljubljana.
- Grigillo, D., Kosmatin Fras, M., Petrovič, D. 2012: Automated building extraction from IKONOS images in suburban areas. *International Journal of Remote Sensing* 33-16. London.
- Haala, N., Hastedt, H., Wolf, K., Ressel, C., Baltrusch, S. 2010: Digital photogrammetric camera evaluation – generation of digital elevation models. *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 2.
- Höfle, B., Mücke, W., Dutter, M., Rutzinger, M., Dorninger, P. 2009: Detection of building regions using airborne LiDAR – A new combination of raster and point cloud based GIS methods. *Geospatial Crossroads @ GI_Forum '09: Proceedings of the Geoinformatics Forum*. Salzburg.
- Kanjir, U., Veljanovski, T., Marsetič, A., Oštir, K. 2010: Application of object based approach to heterogeneous land cover/use. *Geographic Object-Based Image Analysis*. Ghent. Medmrežje: <http://geobia.ugent.be/proceedings/html/papers.html> (26. 3. 2012).

- Koc San, D., Turker, M. 2007: Automatic building extraction from high resolution stereo satellite images. Information from SAR and Optical Data with Emphasis on Developing Countries. Istanbul.
- Pfeifer, N., Böhm, J. 2008: Early Stages of LiDAR Data Processing. Advances in Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 2008 ISPRS Congress Book. London.
- Rutzinger, M., Rottensteiner, F., Pfeifer, N. 2009: A comparison of evaluation techniques for building extraction from airborne laser scanning. IEEE Journal on Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 2-1.
- Veljanovski, T., Kanjir, U., Oštir, K. 2011: Objektno usmerjena analiza podatkov daljinskega zaznavanja. Geodetski vestnik 55-4. Ljubljana.

IZDELAVA ELEKTRONSKIH NAVIGACIJSKIH KART (ENC) V PODORO VARNI NAVIGACIJI V SLOVENSKEM MORJU

mag. Igor Karničnik, dr. Dalibor Radovan, Matija Klanjšček

Geodetski inštitut Slovenije

igor.karnicnik@gis.si, dalibor.radovan@gis.si, matija.klanjscek@gis.si

dr. Jelenko Švetak

Fakulteta za pomorstvo in promet, Univerza v Ljubljani

jelenko.svetak@fpp.uni-lj.si

UDK: 528.94:656.61.052(497.4)

IZVLEČEK

Izdelava elektronskih navigacijskih kart (ENC) v podporo varni navigaciji v slovenskem morju

V prispevku je podana osnovna primerjava med klasičnimi in elektronskimi navigacijskimi kartami (ENC). Izpostavljeni so različni sodobni navigacijski sistemi, ki so danes uporabljeni v pomorstvu, s poudarkom na pomenu uradnosti ENC-ja ter zahtevah mednarodnih konvencij, katerim je zavezana tudi Slovenija. Povzete so osnovne lastnosti in postopki izdelave ENC-ja ter trenutno stanje v procesu izdelave le-teh v okviru hidrografske službe na Geodetskem inštitutu Slovenije.

KLJUČNE BESEDE

ENC, elektronske pomorske karte, hidrografija, varnost plovbe, navigacija

ABSTRACT

Production of electronic navigational charts (ENC) for the purpose of safety of navigation in the Slovenian Sea

The paper is given a basic comparison between traditional and electronic navigational charts (ENC). Various modern navigation systems, which are now used in shipping, are exposed, with an emphasis on the importance of the formality of the ENC and the requirements of international conventions to which Slovenia is committed as well. The paper summarizes basic characteristics and phases of manufacturing processes of the ENC and the current state of the production process within the hydrographic service at the Geodetic Institute of Slovenia.

KEY WORDS

ENC, electronic navigational chart, hydrography, safety of navigation, navigation

1 Uvod

Navigacijske karte so eden od pomorščakovih najstarejših in najširše uporabljanih navigacijskih pripomočkov. So delovna površin, kamor navigator vrisuje smer plovbe, položaj ladje v absolutnem smislu na zemeljskem površju, ter v relativnem smislu glede na okoliške objekte in druga plovila. Pri elektronskih navigacijskih kartah ENC (*electronic navigational chart*) se je pomorščaku spremenila delovna površina (navigacijsko mizo je nadomestil računalniški zaslon), funkcija in pomen karte pa ostajata ista. Seveda ob dejstvu, da moderne karte omogočajo pomorščaku še veliko dodatnih funkcij, kot je na primer preverjanje ustreznosti načrtovane plovne poti (Karničnik 2006).

Navigacijske karte imajo tudi velik pravni pomen. Pri nesrečah (na primer nasedanju ali trku) postanejo navigacijske karte pomemben dokazni material za rekonstrukcijo dogodkov in določitev odgovornosti za nesrečo. Ravno zato se je treba zavedati pomena natančne izdelave karte. Kar največjo pozornost je treba posvetiti pripravi podatkov in sami izdelavi karte.

2 O navigacijskih kartah

Glede na način prikaza podatkov poznamo dva tipa navigacijskih kart: klasične oziroma tiskane in elektronske. Slednje se delijo še na dva podtipa: vektorske in rastrske karte.

Tiskane karte so široko poznane in že v dolgoletni uporabi pri pomorščakah, saj so osnova za zagotavljanje varne plovbe. So grafična predstavitev objektov na papirju, ki so prikazani z različnimi barvami, velikostmi in oblikami znakov, krajšavami in opisi (slika 1).

Vektorski način prikaza digitalnih podatkov je eden izmed dveh načinov, ki se uporabljata za prikaz navigacijskih podatkov na zaslonu računalnika. Posamezni podatki so prikazani v obliki neposredne povezave med dvema točkama, ki je podana z dvema nizoma koordinat ali z razdaljo in smerjo od ene točke proti drugi (slika 2).

Rastrski način je drugi način prikaza digitalnih navigacijskih podatkov elektronske karte. Sliko tvorijo majhni kvadrati (pike oziroma slikovni elementi), vsak s svojo barvo. Tvorijo jo na podoben način, kot nastane televizijska slika. Kakšno barvo ima posamezna pika, se ugotavlja v procesu skeniranja. Rezultat je slika, ki je pravzaprav digitalna fotokopija tiskane karte.

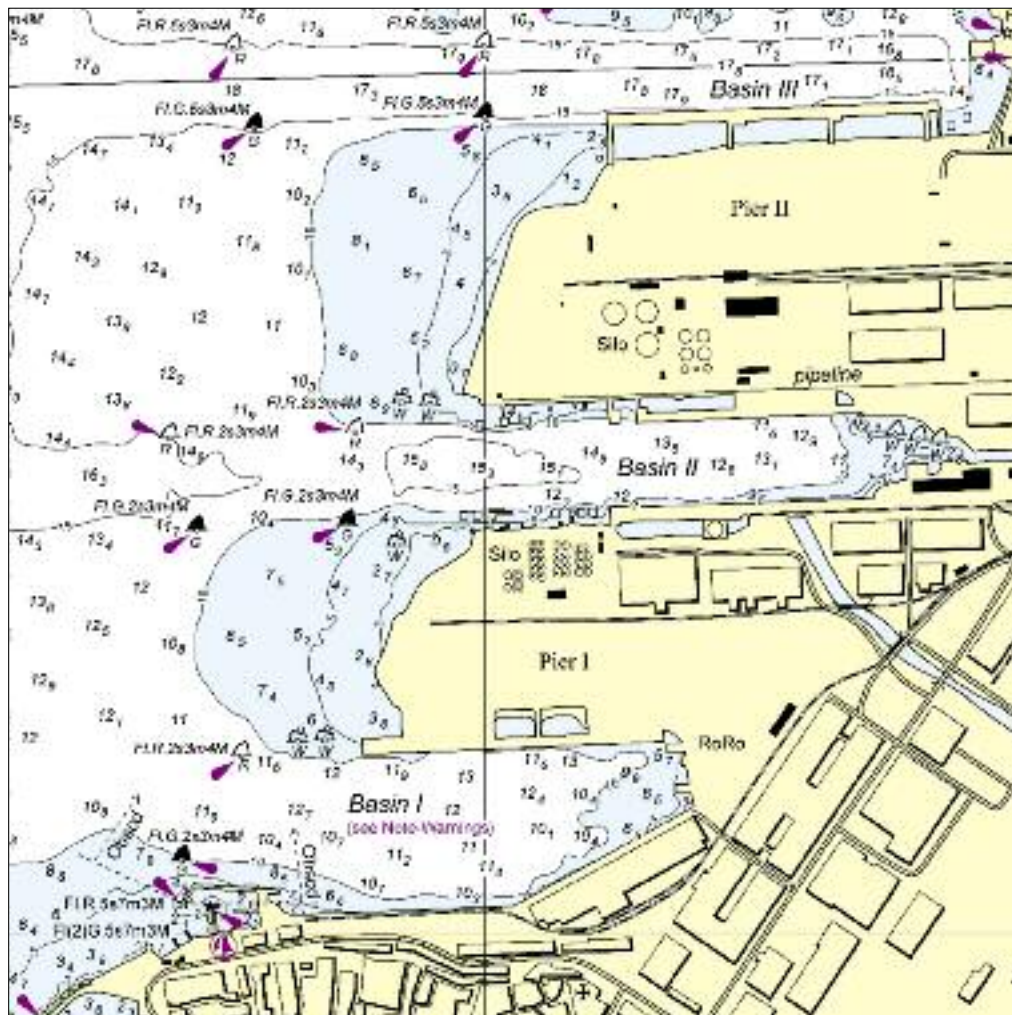
3 O sistemih za prikazovanje kart na zaslonu

Da bi lahko uporabnik elektronsko navigacijsko karto uporabljal, rabii sistem za prikaz elektronskih informacij karte na računalniškem zaslonu. Elektronski sistem za prikazovanje kart je bil v mnogih pogledih med prvimi ladijskimi navigacijskimi napravami, kjer so bile uporabljene osnovne komponente računalniške tehnologije in geografskih informacijskih sistemov.

Vsi elektronski sistemi za prikazovanje elektronskih navigacijskih kart nimajo enakih zmožnosti niti enakih funkcij. Glavne razlike med različnimi elektronskimi sistemi se nanašajo predvsem na format in vsebino podatkov navigacijske karte, prikaz navigacijske karte ter na razpoložljive navigacijske funkcije (Hecht s sodelavci 2002).

Na osnovi teh kriterijev poznamo tri osnovne elektronske sisteme:

- elektronski sistem za prikazovanje navigacijskih kart ECS (*electronic chart system*),
- rastrski elektronski sistem za prikazovanje navigacijskih kart RCDS (*raster chart display system*) ter
- elektronski sistem za prikazovanje navigacijskih kart in informacijski sistem ECDIS (*electronic chart display and information system*).

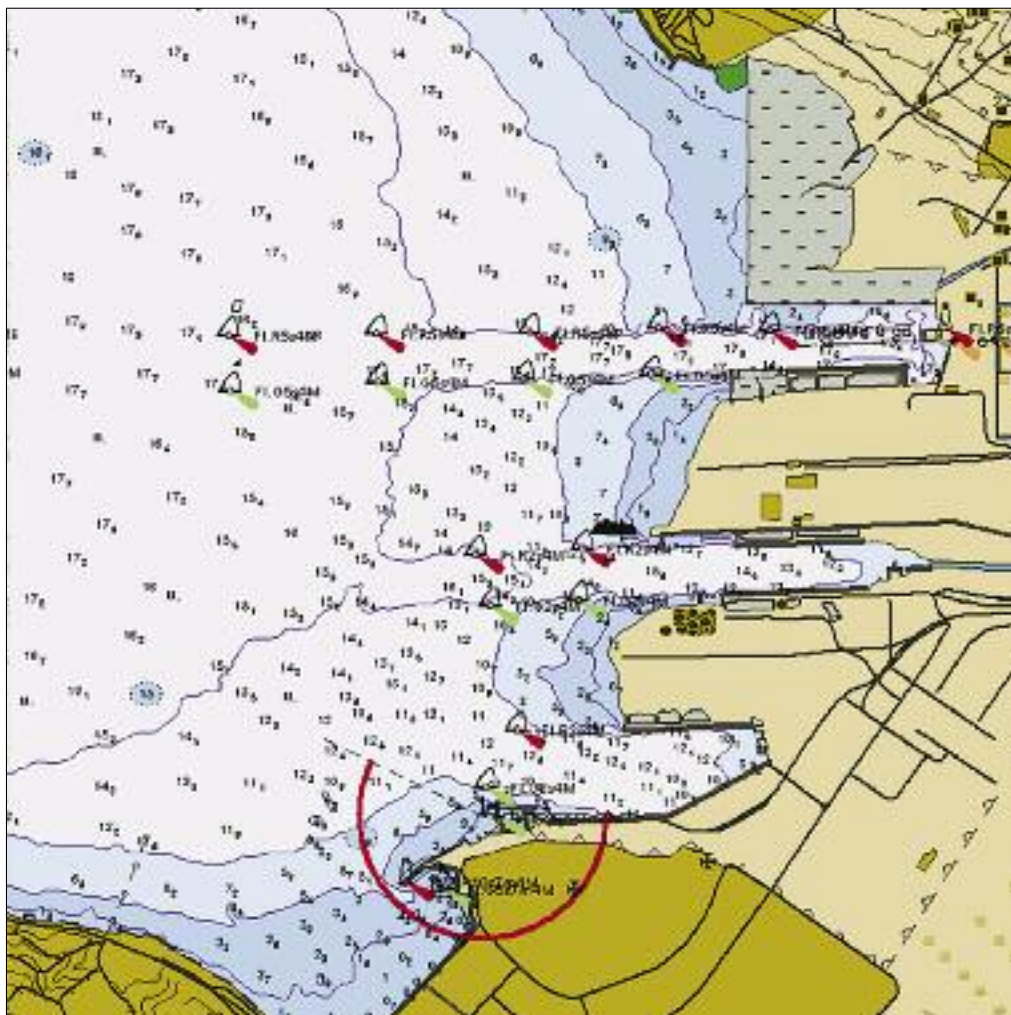


Slika 1: Izsek iz tiskane karte Koprskega zaliva.

4 Uradnost elektronskih navigacijskih kart

Glavne navigacijske funkcije, ki so enake ne glede na vrsto uporabljene karte, so planiranje, spremljanje in dokumentiranje plovbe. To vključuje predvsem izbiro optimalne poti plovbe ob upoštevanju navigacijskih in ekonomskih elementov plovbe ter zagotovitev, da je plovba po izbrani poti varna (na primer identifikacija vseh pripomočkov za navigacijo, določevanje položaja ladje, popravljanje smeri in hitrosti plovbe).

Ne glede na vrsto uporabljene navigacijske karte pa so zahteve Mednarodne konvencije o varstvu človekovega življenja na morju SOLAS (*International Convention for the Safety of Life at Sea*) (IMO 2009) zelo jasne. Če naj poveljnik ladje spoštuje ta pravila, mora uporabljati izključno samo uradne navigacijske karte! To pomeni uradne karte in v primeru elektronskih sistemov tudi uraden elektronski sistem,



Slika 2: Izsek iz vektorske karte ENC Koprskega zaliva.

skupaj z ustreznim zavarovanjem v primeru okvare oziroma izpada delovanja. Osnovni pogoj za uradnost navigacijskih kart je, da jih mora izdati nacionalni hidrografski urad in da morajo biti karte redno vzdrževane.

5 Zahteve mednarodnih konvencij

Krovni organizaciji, ki skrbita za varnost plovbe, sta Mednarodna pomorska organizacija IMO (*International Maritime Organization*) ter Mednarodna hidrografska organizacija IHO (*International Hydrographic Organization*). Obe pripravljata konvencije, standarde in priporočila državam članicam, z namenom zagotoviti kar najvišji nivo varnosti plovbe po morju. Ena izmed pomembnejših konvencij IMO-ja je konvencija SOLAS – Mednarodna konvencija o varstvu človekovega življenja na morju.

19. pravilo V. poglavja konvencije SOLAS (IMO, 2009) natančneje opredeljuje, katero navigacijsko opremo mora imeti ladja na krovu. Pravilo zahteva, da morajo imeti vse ladje, ne glede na velikost, na krovu navigacijske karte in publikacije za planiranje in spremljanje plovbe, vendar pa morajo imeti tudi ustrezno zavarovanje v primeru izpada delovanja elektronskega sistema, torej ECDIS, ki kot edini elektronski sistem zadošča zahtevam te konvencije.

IMO je leta 2009 sprejela resolucijo, da je uporaba elektronskih kart na ladjah (to je ENC s sistemom ECDIS) obvezna. Glede na zahtevnost tega je v resoluciji tudi predviden postopen prehod na elektronske sisteme, in sicer glede na velikost in tip ladje od 1. julija 2012 do 1. julija 2018. To pa ni pomemben korak samo za ladjarje, ki morajo svoje ladje opremiti z ECDIS, ampak tudi za nacionalne hidrografske urade, ki morajo izdelati ENC morja svoje pristojnosti. Če pomorščaki uporabljajo ECDIS, morajo biti pripravljene tudi karte zanj. Slovenija pri tem ni izjema. Ko bo po preteku prehodnega obdobja pripula ladja v koprsko pristanišče, bo morala imeti na krovu elektronske navigacijske karte, ki jih bo izdelal slovenski hidrografski urad.

6 Izdelava zbirk podatkov elektronskih navigacijskih kart ENC

ENC je v bistvu geografski informacijski sistem (baza podatkov), ki je standardiziran po vsebini, strukturi in formatu zapisa. Vsi prikazani objekti na navigacijski karti so vezani na točno določen položaj na površini Zemlje. Zato mora model definirati opisne in prostorske značilnosti posameznega objekta. V standardu IHO-ja za izdelavo ENC-ja (S-57) je to rešeno s pojavnimi in prostorskimi objekti (na primer pojavni objekt: obalna linija; prostorski objekt: vektor, ki določa mejo med kopnim in morjem). Pojavni objekt vsebuje opisne lastnosti objekta v naravi, prostorski objekt pa podaja njegovo geometrijo in položaj modelu prostora.

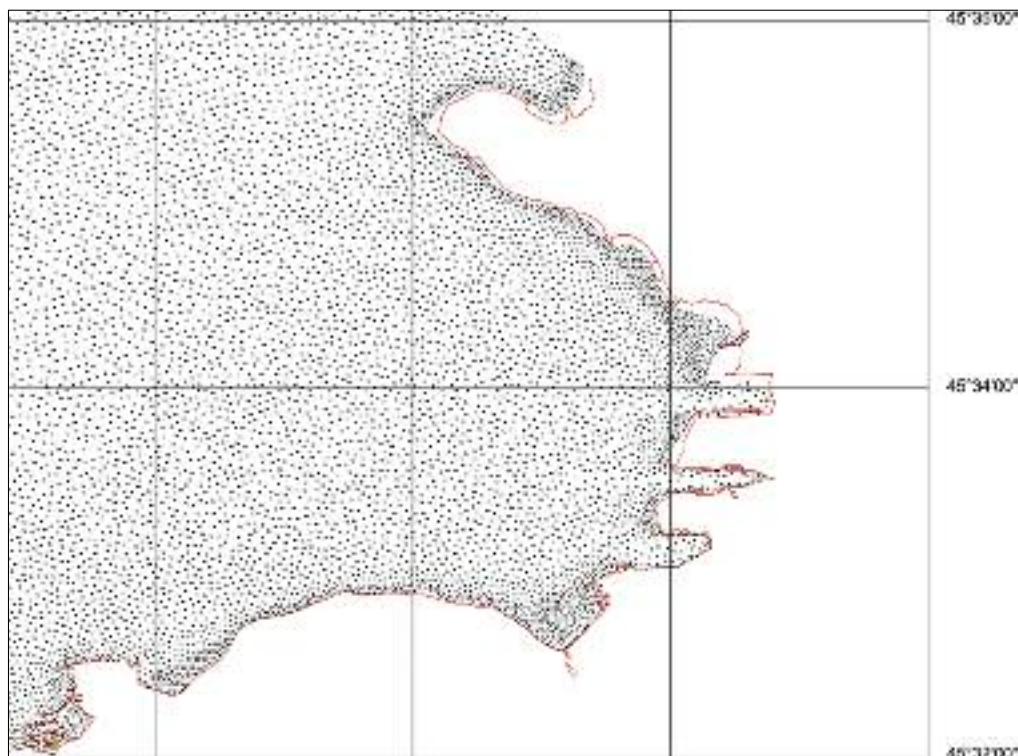
V ENC-ju se uporablja poligonsko-vozliščni topološki model (*chain-node topology*), kar pomeni, da je baza skupek vozlišč in robov. Vse oblike so definirane z dvema skupnima gradnikoma, točko in linijo. Podatki v ENC-ju so brez kartografske projekcije, koordinatne točke v bazi podatkov pa so neposredno podane kot geografske koordinate na svetovnem elipsoidu *WGS 84*. Zaradi vezave navigacijskega sistema na satelitski navigacijski sistem GPS, je horizontalni datum *WGS 84* edini dovoljeni za uporabo in izdelavo kart.

Velikost datoteke z eno ENC bazo podatkov ne sme presegati 5 MB. Kašna je razdelitev na celice (liste) ENC-ja, je odvisno od posameznega hidrografskega urada. Nekateri temeljijo na obstoječih mejah klasičnih oziroma tiskanih kart (primeri kart za Slovenijo) ali na pravokotnih celicah. Celice zajema ne smejo biti ne prevelike in ne premajhne, v izogib prevelikemu ali premajhnemu številu zajetih celic.

Za ničelni nivo globlin in ničelni nivo nadmorskih višin je dovoljenih več možnosti, izbira pa je odvisna od nivojske ploskve, ki je izbrana za državni ničelni nivo. Pri nas sta to za višine ničelni nivo nadmorskih višin ter srednja nižja nizka voda živih morskih men *MLLWS* (*mean lower low water springs*) kot ničelni nivo globlin.

7 Priprava globlin za ENC

Nabor slovenskih ENC zbirk podatkov trenutno obsega 3 celice (Koprski zaliv, Slovensko morje – vzhod ter Pristanišče Koper). V letu 2010 smo začeli s pripravami izvedbo zbirke podatkov elektronske navigacijske karte ENC-ja celotnega slovenskega morja. Za pripravo podatkov o globlinah so bile opravljene meritve globlin morja v letih od 2007 do 2009. Izvajalec meritev je surove podatke meritev pred predajo že prečistil in točke izmerjenih globlin ustrezno izbral v razmaku okoli 20 m. Vhodni podatki pred izborom vzorca globlin in pripravo za izdelavo ENC-ja so bili odbirki globlin nekaj več kot pol milijona lokacij (natančneje 516.228 lokacij).



Slika 3: Izsek iz hidrografskega originala za izdelavo ENC-ja, primer gostote globin za raven merila 1 : 5000.

Vhodna datoteka s podatki globin je vsebovala zapis geografskih položajev posameznih globin (geografska dolžina in širina) in njihove pozitivne vrednosti. Za nadaljnji izbor globin je bil uporabljen ustrezen modul programskega paketa *dKart Editor* (proizvajalca Jeppesen). Za vsako posamezno raven prikaza sta bila izvedena dva koraka, in sicer samodejni izbor globin na osnovi izbranega algoritma ter ročno preverjanje in popravki označevanja globin kot izbrane/izločene (Klanjšček, Karničnik in Hari 2011).

Glede na značilnosti območja izdelave hidrografskega originala je bilo določenih 6 različnih meril izbora globin, ki bodo služile kot osnova za izdelavo ENC-ja, kakor tudi za uporabo v postopkih izdelave tiskanih pomorskih navigacijskih kart. Določena merila izbora globin in število izbranih globin pri posameznem merilu je prikazano v preglednici 1.

Preglednica 1: Merila izbora globin in število izbranih globin.

merilo	število izvornih globin	število globin po izboru
1:5000	516.228	28.398
1:10.000	516.228	7.699
1:25.000	516.228	1.380
1:50.000	516.228	395
1:75.000	516.228	192
1:100.000	516.228	121

8 Sklep

Pomorščak na morju ne more varno pluti brez dobre pomorske karte. Ne more vrisati svojega položaja, ne more načrtovati plovbe niti kdaj bo prispel na cilj. Da morajo biti navigacijske karte narejene natančno, kakovostno na osnovi dobrih podatkov je bilo možno spoznati iz nedavne tragične nesreče potniške ladje ob obali Italije. Nedvomno pa za zmanjševanje tveganja ni dovolj samo karta, tudi njena uporaba mora biti pravilna, vestna in dosledna, pa naj bo tiskana ali elektronska. Karta je v rokah navigatorja orodje, je vir informacij, ki pripomore skupaj z uporabo ostalih navigacijskih naprav, da ladja, tovor in ne nazadnje posadka prispejo na cilj. Hidrografi in kartografi se trudimo pridobiti kar najboljše podatke, jih pravilno interpretirati in iz množice podatkov izluščiti tiste, ki bodo v resnično pomoč pri varni plovi.

9 Viri in literatura

- Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as Amended. Resolucija IMO MSC.282(86), 2009.
- Hecht, H., Berking, B., Büttgenbach, G., Jonas, M., Alexander, L. 2002: The Electronic Chart. GITC bv. Lemmer.
- IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data 3.1 – Special Publication S-57. International Hydrographic Bureau. Monako, 2000.
- Karničnik, I. 2006: Povečanje varnosti pomorskega prometa z uporabo elektronskih navigacijskih kart. Magistrska naloga, Fakulteta za pomorstvo in promet Univerze v Ljubljani. Portorož.
- Klanjšček, M., Karničnik, I., Hari, J. 2011: Hidrografski originali. Končno poročilo, Geodetski inštitut Slovenije. Ljubljana.
- Mednarodna konvencija o varstvu človekovega življenja na morju (SOLAS – International Convention for the Safety of Life at Sea). Uradni list SFRJ-MP 2/1981. Ljubljana.
- Pomorska karta Koprski zaliv 01 – INT 3469 1 : 15.000. Ministrstvo za promet Republike Slovenije. Ljubljana, 2011.

SISTEM ZA PODPORO GASILCEM NA INTERVENCIJI

Darka Jezeršek, Boštjan Krapež, Daniel Presl Radi

Harpha Sea, d. o. o. Koper

darka@harphasea.si, bostjan@harphasea.si, daniel@harphasea.si

UDK: 91:659.2:004

614.84

IZVLEČEK

Sistem za podporo gasilcem na intervenciji

Pregled in analize prostorskih podatkov predstavljajo pomemben vir informacij, ki pomagajo pri razumevanju stanja v prostoru ter vplivajo na sprejemanje prostorskih odločitev. Naloge gasilske službe niso samo gašenje požarov, temveč njihovo delo vključuje širok krog življenjsko pomembnih nalog, ki zahtevajo dobro načrtovanje. Gasilska stroka se ob tem srečuje z veliko količino podatkov, ki navadno izhajajo iz različnih virov, podatki pa morajo biti na razpolago na hiter in učinkovit način. Prispevek predstavi zgradbo in delovanje v praksi že delujočega trirazsežnostnega GIS-a za podporo gasilcem ob različnih tipih intervencij.

KLJUČNE BESEDE

geografski informacijski sistem, gasilci, intervencija, trirazsežnostni prikazovalnik

ABSTRACT

Support system for firefighters emergency response

Possibility of viewing and analyzing spatially referenced data is becoming an important source of information in order to help and improve decision-making processes. Today's public safety agencies face challenges well beyond just fighting fires. They also respond to emergencies in a wide range of life-dependent situations that call for effective pre-organization. Fire departments are overrun with data from multiple sources and that data needs to be disposable effectively when needed. This article gives an introduction to architecture and basic principles of already integrated and used 3D GIS application for firefighters support.

KEY WORDS

geographic information system, firefighters, emergency response, threedimensional display

1 Uvod

Preprečevanje naravnih in drugih nesreč ter zmanjševanje njihovih posledic je nedvomno ena izmed prednostnih nalog vsake države. Pomembno vlogo pri zagotavljanju nacionalne varnosti imajo gasilci. Gasilska služba opravlja naloge gašenja in reševanja ob požarih, preventivne ukrepe varstva pred požarom in nekatere naloge s področja zaščite in reševanja ljudi ter premoženja ob naravnih in drugih nesrečah. Pri vseh njihovih postopkih se prvenstveno odločajo v prid reševanju življenj. Čas od obvestila o dogodku do odziva in ukrepanja na kraju dogodka se velikokrat meri v sekundah, zato je zelo pomembno, da imajo gasilci na razpolago vsa sredstva za hitro in učinkovito ukrepanje (Starček 2010). Gasilska služba rabi za svoje učinkovito delovanje sistem, ki jo bo čim hitreje in čim varneje vodil do območja, kjer je potrebna intervencija. Informacije morajo biti aktualne in hitro dostopne. Pogosto se gasilci pri svojem delu srečujejo z omejeno količino informacij, intuitivne tradicionalne metode načrtovanja intervencijskih poti pa zahtevajo veliko časa. Za izpolnitev pričakovani javnosti po vedno večji učinkovitosti gasilcev morajo ti imeti na razpolago najboljše tehnike, orodja in metode.

Napredek v razvoju geoinformacijske tehnologije nudi vse pogostejšo podporo različnim strokam, tudi gasilcem. GIS-i so niz računalniških orodij, metod, tehnik in dejavnosti, ki podpirajo prostorsko odločanje in nudijo možnost hitrega dostopa do potrebnih podatkov in njihov prikaz za pripravo, odločanje in ukrepanje. Njihova uporaba v gasilstvu omogoča ogled vseh potrebnih podatkov na enem mestu, pomaga zmanjšati odzivni čas in povečuje učinkovitost.

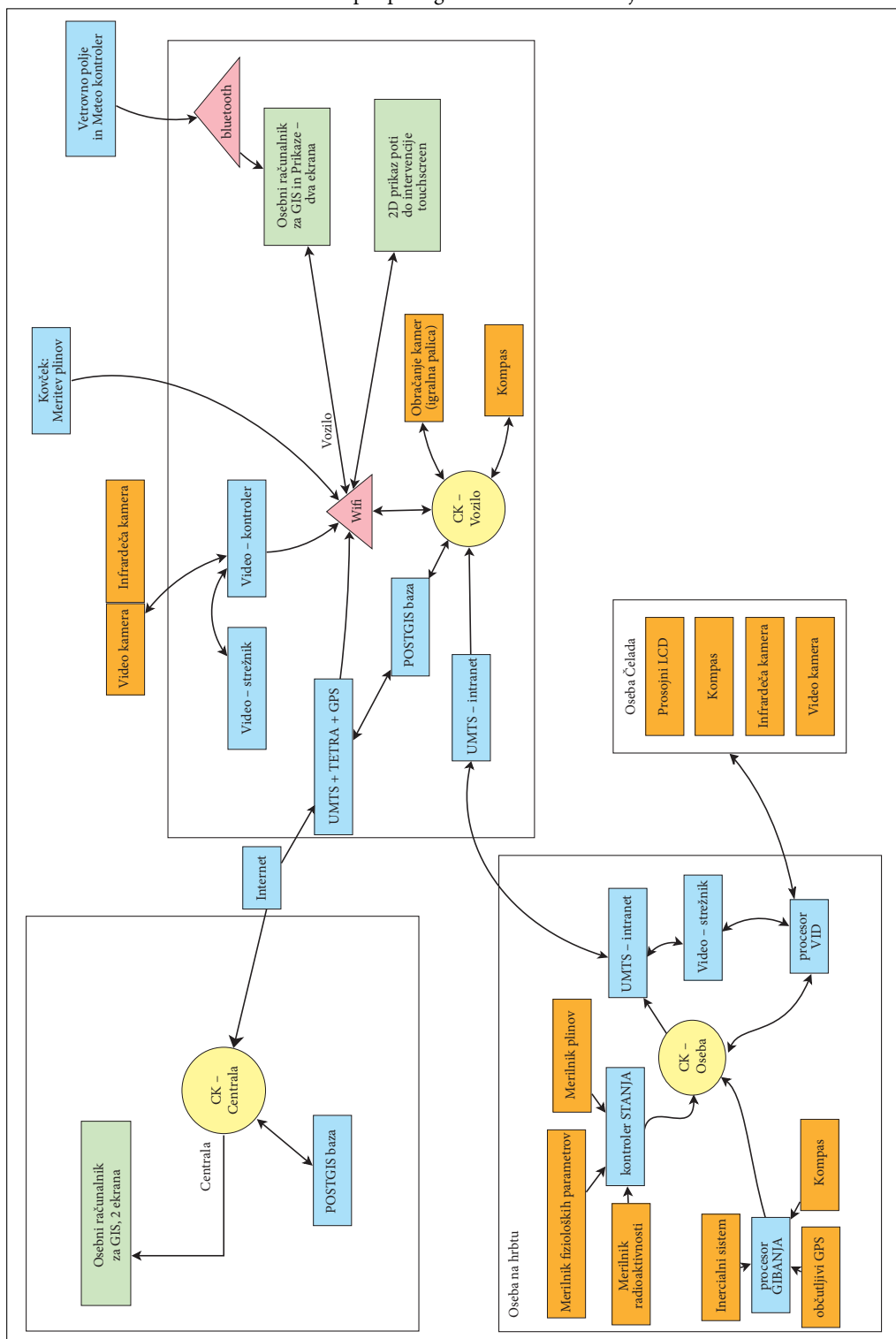
2 Geoinformacijski sistem za podporo gasilcem na intervenciji

GIS za podporo gasilcem na intervenciji je rezultat projekta SOVZO (Sistem za spremljanje oseb in vozil v zahtevnih okoljih), ki ga je v okviru programa TP MIR sofinancirala Javna agencija za tehnološki razvoj Republike Slovenije. V sklopu projekta je bil razvit prototip sistema za sledenje oseb na območjih požarov, kjer so pogoji za delo zelo slabi (omejena vidljivost, možnost pojava strupenih plinov, visoka temperatura, sevanje in podobno). Sistem vpletenim osebam sprotno dovaja informacije o stanju v prostoru, o njihovi lokaciji ter možnih poteh napredovanja oziroma umika z nevarnega območja. Namenjen je predvsem gasilcem pri gašenju požarov v zaprtih prostorih ali pri gozdnih požarih, pa tudi drugim reševalnim enotam (plazovi, potresi, iskanja pogrešanih). SOVZO je učinkovita in inovativna nadgradnja obstoječih klasičnih načinov delovanja gasilcev, saj omogoča krajši odzivni čas, večjo osebno varnost, hitrejšo odkrivanje žarišča oziroma izvora požara s pomočjo toplotne kamere in nadzor poteka gasilske akcije iz centrale prek sledenja vozilom in posameznim osebam na terenu (SOVZO ... 2010).

Sistem za podporo gasilcem na intervenciji je sestavljen iz več delov, ki so med seboj povezane, uporabljamo pa jih lahko tudi samostojno. Omenjene komponente so na osebi (gasilcu), v gasilskem vozilu in v centrali. Podsystemi med seboj komunicirajo preko UMTS povezav, med vozilom in centralo pa je predvidena tudi nadomestna povezava prek omrežja TETRA v primeru izpada UMTS-ja. Podsystem na polno opremljeni osebi vključuje spremljanje senzorjev potencialnih nevarnosti (plini, radioaktivnost), fiziološkega stanja gasilca, modula za določanje trenutnega položaja, video in toplotne kamere ter prikazovalnike za orientacijo v prostoru. Tudi na vozilu sta nameščeni obe video kameri, računalnik z bazo podatkov in trirazsežnostnim (3R) prikazom terena ter položaja objektov in računalnik za navigacijo. Podatki o intervenciji se zbirajo v centrali, kjer se nahaja glavni računalnik z bazo podatkov in naprednim GIS-om, ki poleg klasičnih značilnosti tovrstnih aplikacij ponuja možnost 3R prikazovalnika ter dinamično prikazovanje podatkov na terenu (SOVZO ... 2010).

Slika 1: Zasnova sistema SOVZO (SOVZO ... 2010). ►

Sistem za podporo gasilec na intervenciji

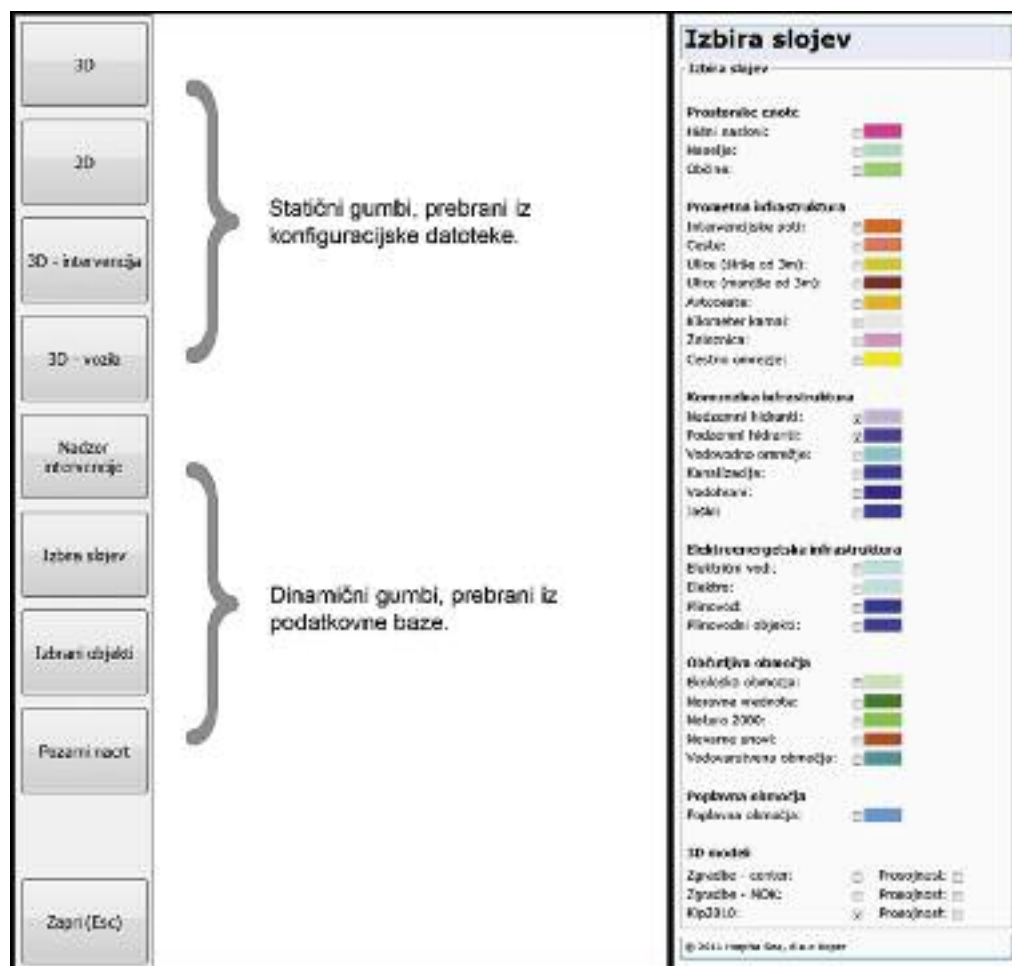


3 Zgradba in delovanje geoinformacijskega sistema

GIS, imenovan Centrala, je bil razvit za podporo učinkovitemu delu gasilcev na intervenciji, saj naj bi skrajšal čas, potreben za sprejem odločitev, in izboljšal njihovo učinkovitost. Zasnovan je tako, da je čim enostavnejši za uporabnika, hkrati pa mu nudi kar največ informacij. Pri razvoju sistema so bile upoštevane ključne zahteve uporabnosti, ki so nujne za delovanje gasilskih služb:

- poznavanje pogojev za delo na terenu,
- varnost pri izvajanju intervencijskih nalog,
- možnost hitrega načrtovanja intervencijskih nalog,
- enostavno, hitro in učinkovito vodenje nalog,
- naknadna analiza odzivov na vožnjo in pregled statističnih podatkov.

Sistem Centrala, ki je pri dežurni službi, omogoča lažje načrtovanje intervencije. Sestavlja ga 3R/2R grafični vmesnik, s katerim uporabnik pregleduje intervencijsko območje in pridobiva podatke (intervencijske poti, hidranti, zapore cest, poplavna ali zavarovana območja ...) za načrtovanje intervencijske



Slika 2: Kontrolni del je sestavljen iz orodnega stolpca (levo) in spletnega brskalnika (desno).

naloge. Osnovno jedro Centrale je podatkovna baza, ki se poljubno širi glede na število prostorskih podatkov. Bazo sestavljata objektno-relacijski upravljalnik podatkovnih baz *PostgreSQL* skupaj z dodatkom za geografske podatke *PostGIS* in odprtokodna knjižnica *OpenSceneGraph*, ki temelji na odprtokodni knjižnici *OpenGL*. Celoten sistem je napisan v programskem jeziku C++, sestavljen pa je iz dveh ločenih delov, ki sta povezana med sabo samo s podatkovno bazo.

Prvi, kontrolni del, omogoča ogled in spreminjanje atributov prostorskih podatkov, izbiranje slojev in vnašanje novih podatkov v bazo preko protokola HTTP in spletnega jezika PHP. Z njim lahko spreminjamo delovanje 3R prikazovalnika, izris slojev ter navigacijo po terenu. Kontrolni del je sestavljen iz orodnega stolpca in spletnega brskalnika. Stolpec (slika 2) je zgrajen iz enostavnih velikih gumbov na levem delu zaslona. S statičnimi gumbi spreminjamo način delovanja 3R prikazovalnika, s katerim lahko spremljamo trenutni položaj vozila ali osebe. Dinamični gumbi omogočajo uporabniku zajem intervencij ter njihov zaključek, izbiro slojev, ki jih želijo videti v 3R prikazovalniku, podatke o izbranih točkah v 3R prikazovalniku ter požarne načrte izbranih objektov. Spletni brskalnik (slika 3) omogoča prikazovanje že vnaprej pripravljenih slojev, na primer hišni naslovi, ceste, intervencijske poti, hidranti, poplavna območja in podobno.

Drugi, prikazovalni del, je osrednji in najpomembnejši del GIS Centrale. Prek njega želimo prikazati prostorske podatke na zanimiv in interaktiven način. Posebnost GIS-a je v tem, da so vsi podatki prikazani v 3R prostoru (slika 4), s katerim dobimo lepšo in boljše predstavitev, kot če bi podatke prikazovali v 2R prostoru. S prikazovalnikom lahko raziskujemo prostor, spremljamo in analiziramo prostorske podatke ter nalagamo nove statične in dinamične objekte v realnem času. Celoten prikazovalnik je napisan s pomočjo knjižnice *OpenSceneGraph*, njegova prednost pa je v tem, da omogoča tudi prikaz dinamičnih objektov (na primer vozil, ljudi, vetra itd.) v realnem času.

GIS dopolnjuje aplikacija *Vozilo*, ki deluje kot avtonomna aplikacija s svojo podatkovno bazo. Program se strukturno razlikuje od sistema Centrala v delu prikazovalnika, ki za prikaz prostorskih podatkov



Slika 3: 3R prikaz intervencije.



Slika 4: Spremljanje intervencije.

uporablja 2R projekcijo. Za navigacijo uporablja navigacijski vmesnik *pgRouting*, ki omogoča izračunavanje najkrajših oziroma najugodnejših intervencijskih poti.

Ko gasilska služba prejme informacijo o izrednem dogodku, steče postopek evidentiranja kraja intervencije. Določiti je treba točno lokacijo in na kraj dogodka usmeriti intervencijsko vozilo. Dežurni operater ima možnost, da zajame intervencijo (slika 5) iz seznama baze hišnih številk ali neposredno z dvoklikom na teren 3R prikazovalnika. V seznamu intervencij, kjer je mogoče spremljati aktivne intervencije in jih tudi zaključiti, se izpiše zabeležena intervencija s spremljajočimi podatki, kot so število prebivalcev na hišni številki, požarni načrt na hišni številki in podobno. Podatki o intervenciji se z izbiro poveljujočega vozila avtomatično prenesejo v mobilni GIS. Računalnik je hkrati nosilec podatkovne baze in navigacijski vmesnik. Ob vnosu intervencije v Centralo se glede na izbiro poveljujočega vozila v Vozilu izpiše predlagana pot do kraja intervencije s spremljajočimi podatki (vrsta intervencije, zahtevnost terena, število prebivalcev na naslovu itd.). Med tem, ko navigacijski vmesnik po najhitrejši poti vodi intervencijsko vozilo na kraj intervencije, lahko uporabnik v Centrali spremlja položaj vozila na terenu prek 3R GIS aplikacije. Ta nadzor omogoča še dodatno izpopolnjevanje načrta intervencije. Sistem Centrala dovoljuje nadzorovanje več intervencij hkrati, med njimi pa lahko poljubno preklapljamo in nadzorujemo situacijo. Enako velja za vozila, ki so prek GPS/GPRS modulov povezana z osrednjo podatkovno bazo, njihove lokacije pa lahko v vsakem trenutku spremljamo v prikazovalniku.

Osnovne lastnosti GIS-a predstavlja nabor prostorskih slojev v bazi, njihovo nalaganje, pregledovanje in izbiro. Prostorski sloji so predhodno in glede na potrebe vpisani v prostorsko bazo s svojo topologijo in atributnimi podatki. Uporabnik Centrale lahko z izbiro sloja v seznamu aktivnih priključit sloj, ki ga lahko najprej pregleduje v 3R prikazovalniku, z dvoklikom pa pridobi tudi atributne podatke. Možno je, da se atributni podatki prikazujejo glede na oddaljenost pogleda, saj s tem pridobimo boljši pregled, obenem pa ne izgublamo hitrosti delovanja aplikacije. Posebej zanimivi so sloji, ki prikazujejo na primer poplavna in zavarovanja območja in podobno, saj lahko uporabnik glede na njihovo prisotnost prilagaja režim ukrepanja.

4 Sklep

Samostojnost aplikacije in združene lastnosti geoinformacijskega, navigacijskega in podatkovnega sistema omogočajo širok obseg možnosti za nadgradnje glede na ciljnega uporabnika. GIS aplikacijo

smo v praksi preizkusili v sodelovanju z Gasilsko brigado Koper, ki jo tudi redno uporablja in poroča o njenem delovanju. Poleg spremljanja intervencijskih vozil omogoča informacijski sistem tudi naknadno analizo odzivov na intervencije in pregled različnih statističnih podatkov, vezanih na lokacije vozil.

5 Viri in literatura

- SOVZO: Sistem za spremljanje oseb in vozil v zahtevnih okoljih. Končno poročilo projekta, Harpha Sea, d. o. o. Koper, 2010.
- Starček, S. 2010: Izgradnja objektnega kataloga digitalne navigacijske baze za učinkovito navigacijo intervencijskih vozil. Magistrsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

GOOGLE MAPS KOT ODPRTOKODNI GIS?

Igor Bizjak

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

igor.bizjak@uirs.si

UDK: 91:659.2:004

528.9:004.738.5

IZVLEČEK

Google Maps kot odprtokodni GIS?

Namen prispevka je ugotoviti ali lahko uporabimo Googlove zemljevide (Google Maps) kot geografski informacijski sistem (GIS). V prispevku so predstavljeni štiri primeri uporabe Googlovih zemljevidov kot možnosti uporabe GIS-a za namen prikazovanja, iskanja in vnašanja podatkov. Klasični GIS-i se iz osebnih računalnikov vse bolj selijo na splet. Pri tem uporabljajo spletne brskalnice kot odjemalce do GIS strežnikov, na katerih so nameščene baze prostorskih podatkov. Ali se lahko Googlovi zemljevidi primerjajo s takimi namenski spletnimi strežniki?

KLJUČNE BESEDE

GIS, Google Maps, spletni GIS, zemljevid, kartografski informacijski sistem, API

ABSTRACT

Google Maps as an open source GIS?

The goal of the article is can Google Maps be used as GIS? This article brings four examples using Google Maps as an alternative to GIS for presentation, search and data input purposes. Classic GIS are being moved to internet from personal computers by using web browsers as clients to GIS servers that hold spatial database. Can Google Maps be compared to such specialised web servers?

KEY WORDS

GIS, Google Maps, Web GIS, map, cartographic information system, API

1 Uvod

Geografski informacijski sistem (GIS) je tipičen izdelek računalniške dobe. GIS sestavljajo strojna in programska oprema, prostorski podatki, analize ter ljudje (Tomlinson 2003). GIS je s stališča strojne in programske platforme zelo zahteven. Za analiziranje prostorskih podatkov je potrebno veliko procesorske moči. Zato je že od prvega pojavljanja GIS-ov veljalo, da je za normalno delo z GIS-i potrebna močna delovna postaja, kasneje pa zmogljiv osebni računalnik. Namen prispevka je ugotoviti, ali lahko GIS danes uporabljamo na internetu in ali je ta GIS enak GIS-u na osebнем računalniku.

GIS-i se zadnjih nekaj let pospešeno selijo na internet. Pojavili so se programi, kot so *Google Earth*, *Google Maps*, *Bing Maps*. V Sloveniji so znani Geopedija, zemljevid na portalu Najdi.si, Prostorski informacijski sistem občin (PISO) in iObčina. V teh programih lahko uporabniki dobijo veliko prostorskih informacij, ki so postavljene v koordinatni sistem in prikazane na kartografskih podlogah s pripadajočimi atributnimi podatki. Ena izmed definicij GIS-e opisuje kot sklop opravil, kot so zajem, hranjenje, preverjanje, urejanje, analiziranje in prikazovanje prostorskih in atributnih podatkov (Ozemoj, Smith in Sicherman 1981, 92; Burrough 1986; DoE 1987; Parker 1988, 1547). Ali velja ta definicija tudi za GIS-e, ki se pojavljajo na internetu?

Vzpostavitev GIS-a je tehnično zahtevno delo in tudi zelo drago. Med stroške spada nakup programske opreme, ki je največkrat draga že sama po sebi in izobraževanje sistemskih inženirjev, programerjev ter operaterjev. Prvi poskrbijo za namestitve in vzdrževanje sistema, drugi za prilagoditev sistema uporabniku ali določenemu namenu, tretji pa za vnašanje in obdelavo podatkov, izdelavo ter izris rezultatov prostorskih analiz. Selitev GIS-ov na internet pomeni, da je tak sistem precej cenejši, saj rabi mo le eno licenco za spletni strežnik, dostop do strežnika pa je prek osebnih računalnikov z dostopom do interneta.

2 Spletni GIS-i

GIS vsebuje štiri osnovne funkcije: priprava, analiza, prikaz in upravljanje prostorskih podatkov. Priprava vsebuje zajem podatkov in njihovo urejanje. Analize omogočajo uporabo podatkov z namenom izdelave/ustvarjanja novih, ki predstavljajo novo informacijo. Prikaz je možen z orodji za grafično prikazovanje podatkov, bodisi na ekranu ali na risalniku. Upravljanje prostorskih podatkov predstavlja rokovanje s stalnimi grafičnimi in alfa-numeričnimi podatki (Nijkamp in Scholten 1993). Položajno opredeljenim podatkom so lahko pripeti atributni podatki, skupaj pa se hranijo v bazi podatkov. Na osnovi teh podatkov lahko operater s pomočjo priloženih orodij, ki so del GIS-a, izvede analize. Rezultat analiz je lahko kartografsko gradivo in informacije, ki so na voljo za sprejemanje odločitev uporabnika GIS-a (Tomlinson 2003). Prednost uporabe GIS-a je v njegovi funkciji upravljanja z bazami položajno opredeljenih podatkov. Funkcije, ki jih ima GIS vgrajene, omogočajo iskanje po bazi, izdelavo statističnih, prostorskih in drugih analiz in vizualizacijo geografskih podatkov (Heuvelink 1998). Mednje sodijo tudi orodja, ki omogočajo analiziranje podatkov ne glede na njihovo vrsto, podatki sami pa so lahko rezultat opazovanj, predhodnih analiz, preneseni iz drugih baz, ali kako drugače pridobljeni (Batty in Densham 1996).

Spletni GIS-i morajo, poleg zgoraj naštetega, zadostiti še pogoju večuporabnosti. To je, da lahko sistem uporablja več uporabnikov hkrati. Ter delovanju v internetu, kjer se osnovne bazične funkcije sistema, kot so baza podatkov, programska logika in predstavitev rezultatov prenašajo med strežnikom in odjemalcem (Peng in Tsou 2003). Spletne GIS-e lahko razdelimo na sisteme, ki tečejo na strani strežnika (*server-side*), na strani odjemalca (*client-side*) in mešane sisteme. Pri sistemih, ki tečejo na strani strežnika, odjemalec prek obrazca HTML sporoči strežniku zahtevo po podatkih, na strežniški strani se podatki pripravijo in v obliki slike pošljejo nazaj odjemalcu. Pri mešanih sistemih večjo vlogo na odjemalčevi strani prevzamejo posredovani programi napisani v jeziku java (*java applet*), ki omogo-

čajo večjo interaktivnost s strani uporabnikov sistema. Taki sistemi so primerni za vključevanje uporabnikov v obliki diskusij. V zadnji kategoriji *client-side* sistemov je glavni program na odjemalčevi strani, ta opravi vse analize in modeliranje, na strani strežnika pa je samo baza podatkov, do katere dostopa odjemalec (Šumrada 2001; Rinner 2003).

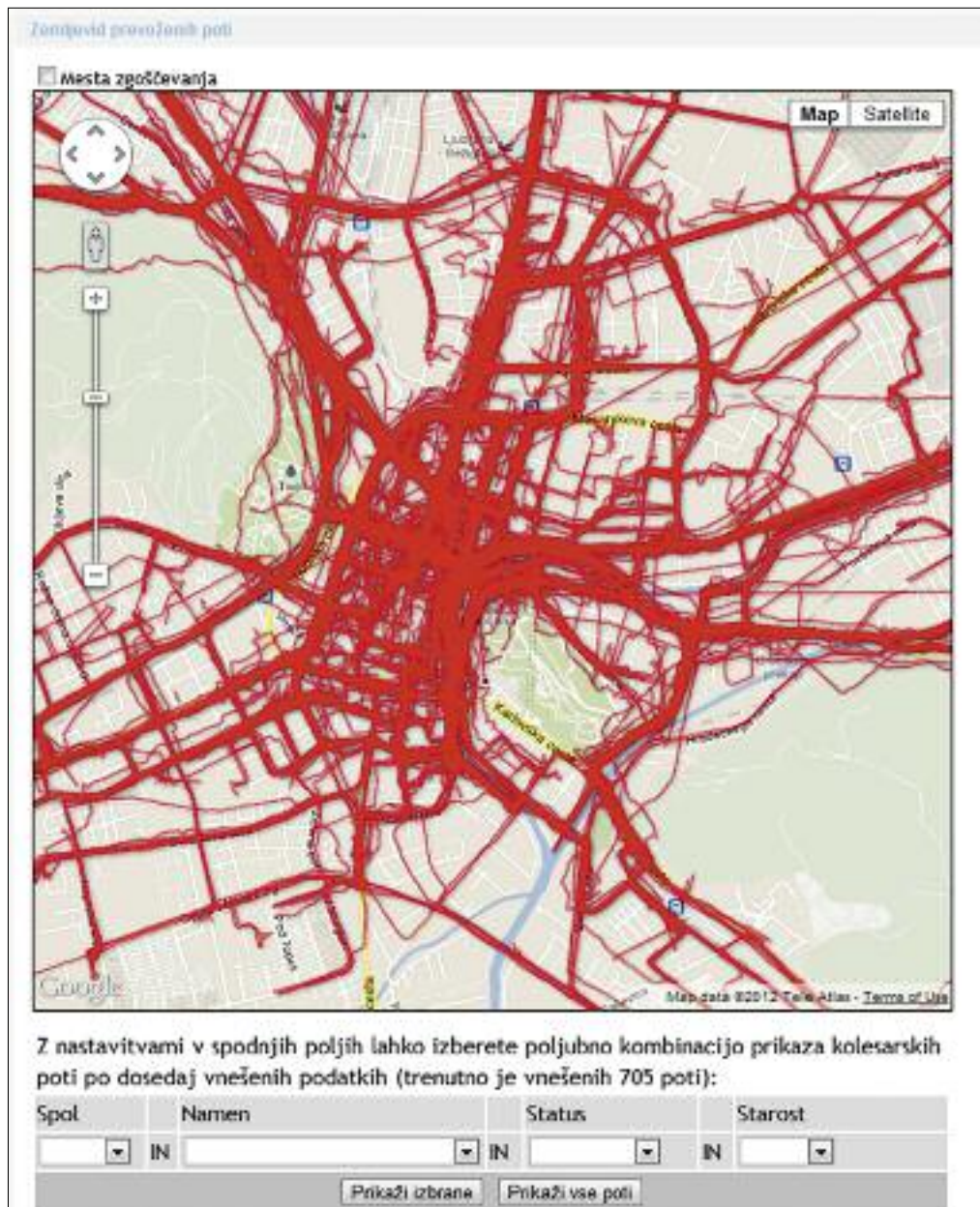
3 Primeri uporabe Google Maps

Googlovi zemljevidi (*Google Maps*) ponujajo uporabniku zemljevide, satelitske posnetke in veliko orodij, ki omogočajo izdelavo lastnih zemljevidov. Uporabnik lahko naredi svoj zemljevid, na katerega vnese vse tri osnovne elemente GIS-a: točko, linijo in poligon. Googlovi zemljevidi že v osnovi ponujajo določene možnosti GIS-ov, kot so risanje osnovnih GIS elementov, dodajanje atributnih podatkov in prikazovanje takih zemljevidov. Googlovi zemljevidi ponujajo še možnost, da uporabnik zemljevide nadgradi s pomočjo programskega vmesnika *Google Maps API (application programming interface)*. Ta omogoča izdelavo poljubne karte, ki ji dodamo podatkovne sloje, iskanje po bazi atributnih podatkov, iskanje prek grafičnega vmesnika ter vnos grafičnih in atributnih podatkov. Karto lahko uporabnik nato vstavi na svojo spletno stran.

V nadaljevanju so predstavljeni štirje primeri uporabe Googlovih zemljevidov kot osnove za prikaz prostorskih podatkov.

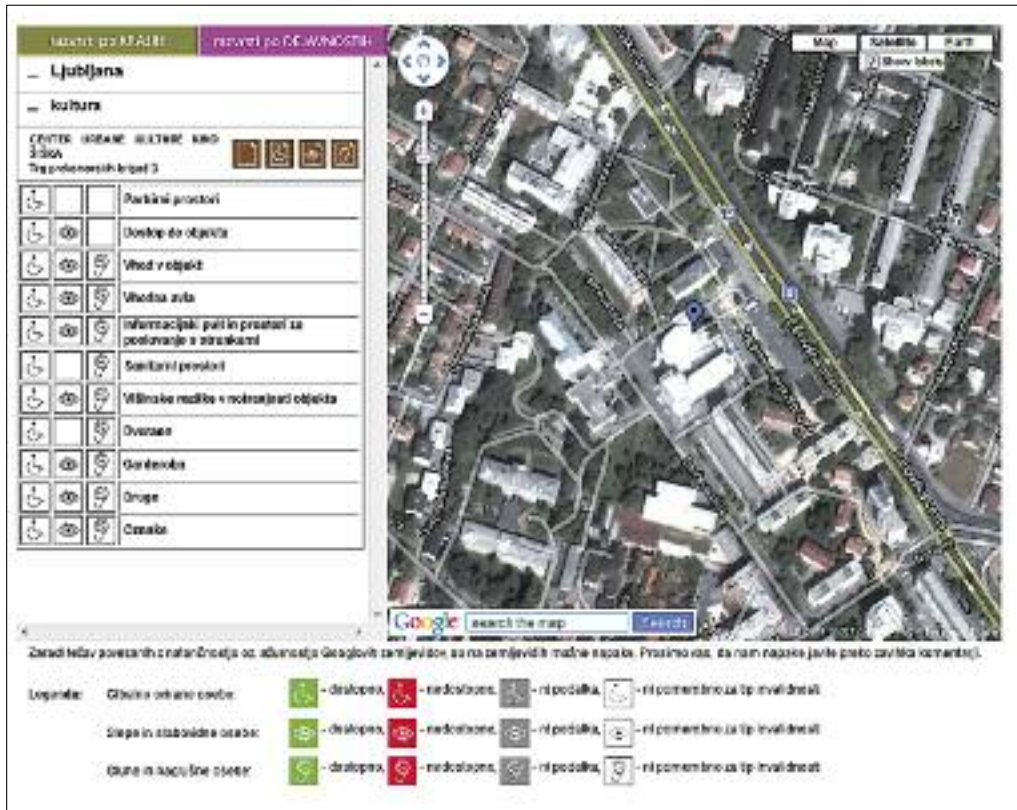
Za projekt »Informacijska tehnologija, urbana mobilnost in izboljšanje kakovosti življenja: z GSM-i do analiz stanja in potreb kolesarstva v Ljubljani« (kolo.uirs.si) je bil narejen spletni portal kolo.uirs.si. V projektu je bilo potrebno s pomočjo GPS sledilnikov zajeti poti, ki jih opravijo kolesarji po Ljubljani, rezultate pa prikazati na spletni strani projekta. V raziskavo je bilo vključenih 61 oseb različnih starosti, ki so opravile 705 kolesarskih voženj po Ljubljani in njeni okolici. Podatki, pridobljeni z GPS sledilnikom, so uporabljeni v obliki zapisa KML (*keyhole markup language*), ki ga uporabljata programa *Google Earth* in *Google Maps*. Za prikaz podatkov je bil uporabljen program *Google Maps*. S pomočjo vmesnika API je bil izdelan zemljevid poti, ki so jih opravili kolesarji v času trajanja projekta. Linije, ki predstavljajo poti kolesarjev, so bile prenesene v Googlove tabele (*Google fusion tables*). Te tabele so spletni servis, ki omogoča vnos podatkov, ki jih lahko programsko prek vmesnika API prikazujemo na zemljevidu na svojih spletnih straneh. API omogoča prikazovanje podatkov tudi na Googlovih zemljevidih. Za prikazovanje opravljenih kolesarskih poti po vnaprej izbranih atributnih podatkih (spol, namen opravljene poti, zaposlitveni status kolesarja in njegova starost) je bil izdelan uporabniški vmesnik, ki omogoča izbor po posameznih atributnih podatkih.

Projekt »Ukrepi za uresničevanje pravic invalidov do dostopa brez ovir: inventarizacija obstoječih ovir v grajenem okolju in v objektih v javni rabi po Sloveniji« (dostopnost.uirs.si) je imel za eno od nalog izvedbo raziskave o stanju dostopnosti grajenih objektov v javni rabi in na javnih površinah za gibalno ovirane, slepe in slabovidne ter gluhe in naglušne osebe. Cilj te naloge pa je bil prikaz dostopnosti grajenih objektov na spletnem portalu, skupaj z možnostjo vzpostavitve sistema nadzora dostopnosti do grajenih objektov v Sloveniji. Pri tem projektu sta bili izdelani dve Googlovi karti, ena za prikaz stanja in druga za spremljanje in opozarjanje o stanju v prostoru. Pri prvi karti, ki prikazuje stanje šestiindvajsetih zajetih testnih objektov, je bil uporabljen dvojni prikaz objektov. V levem delu okna je prikaz v tekstovni obliki in v desnem delu grafični prikaz na karti. Prikaz omogoča slabovidnim, da lahko uporabijo le tekstovni prikaz, če jim vid ne omogoča iskanja po karti. Izbira objekta v tekstovnem prikazu omogoča tudi hkraten prikaz objekta na karti v desnem oknu. Podatki so shranjeni v *MS Access*-ovi bazi podatkov in se prek ASP (*active server pages*) programskega vmesnika, ki teče na strani strežnika in *java script*-a na odjemalčevi strani, prikazujejo na zemljevidu v programu *Google Maps*. Za vzpostavitev sistema nadzora o dostopnosti objektov je možno v drugo karto vnašati objekte in opis ovir za te objekte. Uporabnik izbere lokacijo na karti in vnese pripombo ali pobudo, ta pa se skupaj s prostorskimi koordinatami izbrane lokacije shrani v *MS Access*-ovo bazo podatkov.



Slika 1: Poti kolesarjev v središču Ljubljane.

Za mednarodni projekt »ReSource – Turning Problems into Potentials« (www.resource-ce.eu/en/project-results/post-mining-knowledge-database/internet-knowledge-database-on-utilization-of-post-mining-potentials/) je bilo treba vzpostaviti podatkovno bazo 103 projektov dobre prakse in centrov znanja o revitalizaciji starih rudnikov, odprtih kopov, kamnolomov in podobnih posegov v naravo. Pri



Slika 2: Prikaz stanja dostopnosti objekta.

tem je sodelovalo šest držav iz EU. Podatke je bilo treba prikazati na zemljevidu Evrope s posebnimi simboli ter omogočiti iskanje po bazi podatkov. Zaradi funkcije iskanja so atributni in prostorski podatki shranjeni v MS Access-ovi bazi podatkov. Iskani niz podatkov se vnese preko obrazca na spletni strani na strežnik, kjer rutine VBScript (*visual basic script*) naredijo poizvedbo v bazi podatkov. To poizvedbo zapišejo v obliki definicij spremenljivk, ki jih prebere java script, ko strežnik vrne datoteko nazaj odjemalcu. Java script na odjemalčevi strani izriše karto s simboli in omogoči pregledovanje. Po vsakem simbolu je možno klikniti in dobiti še dodatne podatke, med katerimi so tudi slike in povezave do natančnejših podatkov.

Portal poslovne cone (www.poslovnecone.si) je namenjen predstavljanju slovenskih poslovnih con, zanimivih za tuje vlagatelje. Stran obišče približno 400 oseb na mesec. Tuji vlagatelji lahko ob pregledovanju 237 con poiščejo primerne za na primer postavitev obrata, tovarne ali distribucijsko-logističnega centra v Sloveniji. Cone so predstavljene v obliki poligonov s podrobnejšimi podatki o velikosti, komunalni opremljenosti in dostopnosti. Prvotno je bil portal zasnovan na osnovi MapServer GIS-a ter Gae-a dodatka za pregledovanje con v 3D načinu. Zaradi prepočasnega odziva MapServer-ja in potrebnega nameščanja java knjižnic za delovanje Gae-a dodatka na strani odjemalca, so bili podatki o conah prestavljeni na Google Maps. Pri tem je bil uporabljen vmesnik API, verzija 2.0, ker podpira prikaz v 3D načinu. Za prikaz se uporabljata dva sloja, sloj slovenskih poslovno-gospodarskih con in sloj slovenskih regij. Oba sta shranjena v datotekah KML. Pri tem je sloj slovenskih regij zaradi omejitve števila točk v datoteki KML razdeljen na dve datoteki.

Select & Search

Centres of knowledge

natural potential cultural potential integrative approaches

Good practice project

natural potential cultural potential integrative approaches

Detailed data

on Good practice project		on Centre of knowledge	
Location	Germany	Location	all
Project topic	all	Area of expertise	all
Approximate implementation budget	less than 100,000 €	Financial sources	all
Type of mine	all		
Type of coal/ore	all		
Final evaluation score	all	No. of search results	19

The map displays search results for coal/ore projects across Europe. Green markers are visible in Germany (near Hamburg, Berlin, and Cologne), Poland (near Wrocław and Katowice), and the Czech Republic (near Brno and Olomouc). The map interface includes a search bar, zoom controls, and a 'Map/Satellite' toggle.

Slika 3: Prikaz izbranih podatkov na podlagi določenih kriterijev.



Slika 4: Prikaz cone v 3D pogledu.

4 Sklep

V osnovi so Googlovi zemljevidi samo dober prikazovalnik grafičnih podlag, za katere ni niti nujno, da so kartografske. Vmesnik API je tisti, ki šele omogoči, da bi se iz Googlovih zemljevidov lahko naredil spletni GIS. Če GIS-i obsegajo pripravo, analizo, prikaz in upravljanje prostorskih podatkov, potem lahko z gotovostjo trdimo, da Googlovi zemljevidi nikakor ne morejo biti označeni kot GIS. Če bi morda s pomočjo vmesnika API dodali še druga orodja, ki jih imajo današnji GIS-i, predvsem pa orodja za analiziranje prostorskih podatkov, bi se definiciji GIS-a lahko približali. Vendar so tudi pri programiranju nadgradenj v jeziku *java script* omejitve, saj ne nudi enakih možnosti kot druga programska orodja, na primer java. Omejitev je tudi sam vmesnik API, ki podpira datoteke KML samo do določene velikosti oziroma do določene količine vsebovanih prostorskih elementov (točke, linije, poligoni ...). Googlovi zemljevidi torej niso pravi GIS. Lahko pa bi bili kartografski informacijski sistem. Z njim je možno prikazovati prostorske podatke, ki jih vnesemo v bazo podatkov, izvajati poizvedbe in različne vrste prikazov. Ni treba skrbeti za osveževanje kartografskih podlag, vdelan je iskalnik po podatkih, ki jih hrani Google na svojih strežnikih, ter vmesnik za pomikanje po karti. To pa so definicije kartografskega informacijskega sistema (Shulei in Yufen 2004). Googlovi zemljevidi imajo programski vmesnik API, ki omogoča nadgradnjo kartografskega informacijskega sistema. Z njegovo pomočjo lahko z dodajanjem novih funkcionalnosti Googlove zemljevide približamo GIS-u. A do pravega GIS-a so Googlovi zemljevidi še daleč. Vse naslednje možnosti bi morali vsebovati kot že izdelana orodja in ne kot možnost, da se izdelajo s pomočjo programskega vmesnika. Predvsem bi morali vsebovati možnosti dodajanja slojev v različnih formatih. Trenutno le v KML, KMZ in GeoRSS formatu. Pri dodajanju osnovnih grafičnih objektov (točka, linija, poligon) bi morali ponujati možnosti določanja več atributnih

podatkov kot le enega. Manjkajo možnosti za delo s sloji (razvrščanje, določanje legend in podobno), izdelava analiz podatkov (preseki slojev, unije in podobno) in na koncu tudi priprava karte opremljene z legendami in opisi za izpis na tiskalnik ali risalnik.

5 Viri in literatura

- Batty, M., Densham, P. J. 1996: Decision Support, GIS, and Urban Planning. Medmrežje: http://www.acturban.org/biennial/doc_planners/decission_gis_planning.htm (12. 1. 2012).
- Burrough, P. A., 1986: Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford.
- Department of the Environment (DoE) 1987: Handling Geographic Information. London.
- Heuvelink, G. B. M. 1998: Error Propagation in Environmental Modelling with GIS. London.
- Nijkamp, P., Scholten, H. J. 1993: Spatial information systems: design, modeling, and use in planning. International journal of Geographical Information Systems 7-1. Oxon.
- Ozemoy, V. M., Smith, D. R., Sicherman, A. 1981: Evaluating computerized geographical information systems using decision analysis. Interfaces 11-5. Hanover.
- Parker, H. D. 1988: The unique qualities of a geographic information system: a commentary. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54-11. Bethesda.
- Peng, Z.-R. 2001: Internet GIS for public participation. Environment and Planning B: Planning and Design 28. London.
- Rinner, C. 2003: Web-based Spatial Decision Support: Status and Research Directions. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 7-1. Medmrežje: http://www.ryerson.ca/~crinner/pubs/Rinner_published_GIDA-01-2003.pdf (11. 1. 2012).
- Shulei, Z., Yufen, C. 2004: The Principles of Designing CIS – Cartographic Information System. Geoinformatics 2004 Proceedings of 12th International Conference on Geoinformatics – Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and Atlantic. Gävle.
- Šumrada, R. 2001: Prehod od osrednje k porazdeljeni uporabi tehnologije GIS-ov. Geodetski vestnik 45-4. Ljubljana.
- Tomlinson, R. 2003: Thinking About GIS. Redlands.



ISSN 1855-4954



9 789612 543822

39,00 €